

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Analýza kvality VoIP v rámci služby Triple Play
VoIP Quality Analysis within Triple Play Service

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Patrik Hanulák**
Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor: 2612R059 Mobilní technologie
Téma: **Analýza kvality VoIP v rámci služby Triple Play
VoIP Quality Analysis within Triple Play Service**

Zásady pro vypracování:

Tato práce se zabývá problematikou VoIP v rámci služby Triple Play pasivních optických sítí. Cílem této práce je v laboratorních podmínkách naprogramovat ústřednu (Asterisk) poskytující VoIP pasivní optické síti GePON a analyzovat vliv parametrů v konfiguraci PON/P2P na kvalitu VoIP. Měření bude prováděno pomocí analyzátoru IxChariot.

1. Popište službu Triple Play v rámci optických přístupových sítí (PON a P2P).
2. Realizujte VoIP v rámci služby Triple Play na základě technologie GePON.
3. Proveďte analýzu vlivu parametrů (přenosová rychlost, struktura sítě PON/P2P) GePON na kvalitu VoIP v rámci služby Triple Play.

Seznam doporučené odborné literatury:

LAM, Cedric. *Passive Optical Networks: Principles and practice*. Oxford: Elsevier Inc., 2007. 324 s. ISBN 978-0-12-373853-0.
KEISER, Gerd. *FTTX Concepts and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sonc, Inc., 2006. 293 s. ISBN 978-0-471-70420-1.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Koudelka**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky zdroje informácií a použitú literatúru, z ktorých som čerpal.

V Ostrave dňa
(podpis autora)

PodĎakovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Petrovi Koudelkovi a konzultantom pre problematiku Voice over IP pánom Ing. Karlovi Tomalovi a Ing. Filipovi Řezáčovi za metodickú pomoc a cenné rady pri spracovaní tejto bakalárskej práce. Zároveň by som sa chcel poďakovať spoločnosti Naši.cz za spoluprácu a odborné rady z praxe.

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá analýzou kvality služby VoIP v rámci Triple Play. V prvej časti sú definované optické prístupové siete a ich základné časti. Nasleduje rozdelenie optických prístupových sietí podľa spôsobu komunikácie na Point-to-Point a Point-to-Multipoint. Rozdelenie P2MP sietí. Popis jednotlivých druhov pasívnych optických prístupových sietí. Ďalšia kapitola sa venuje technológii EPON, opisuje základné princípy fungovania a prenosu dát. Kapitola o Triple Play popisuje základné služby a podmienky, za ktorých tieto služby fungujú. Samostatná kapitola je venovaná službe VoIP, kde práca popisuje základné protokoly pre prenos hlasového signálu a najpoužívanejšie kodeky vo VoIP. V kapitole je zároveň popísané hodnotenie kvality služieb VoIP. Takisto sa v práci popisuje jednoduchá konfigurácia služby VoIP na pobočkovej ústredni Asterisk a konfigurácia OLT zariadenia iMAP 9102. Záver práce je venovaný analýze výsledkov meraní.

Klíčové slová

Optická prístupová sieť, optické vlákno, Point-to-Point, AON, PON, EPON, GePON, optická distribučná sieť, Triple Play, Asterisk, VoIP, IxChariot, MOS, OLT, ONU, meranie kvality VoIP,

Abstract

This bachelor's thesis is discussing analyzing VoIP service quality in Triple Play. In the first part of thesis, optical access networks and their basic components are described. Division of optical access networks according to method of communication to Point-to-Point and Point-to-Multipoint networks is the idea of Chapter 3. There is also division P2MP networks and description of passive optical access networks in this Chapter, too. Next Chapter is about EPON technology and describes its main function principles and principles of data transmission. Chapter about Triple Play discusses about main services of Triple Play and conditions, that are these services working in. Part about VoIP follows. There is a description of basic protocols that are used for voice data transmission and the most used codecs in VoIP. There is also mentioned analyzing systems for VoIP services. This thesis contains also a part about Asterisk configuration and OLT iMAP 9102 configuration. The end of thesis is for analyzes of measurement results.

Key words

Optical Access Network, optical fiber, Point-to-Point, AON, PON, EPON, GePON, Optical Distribution Network, Triple Play, Asterisk, VoIP, IxChariot, MOS, OLT, ONU, VoIP quality measurement

Zoznam skratiek

10GPON	pasívna optická sieť s prístupovou rýchlosťou 10 Gb/s
APON	pasívna optická sieť založená na ATM
APC	konektor so šikmou úpravou zakončenia optického vlákna
ATM	asynchrónny prenos dát
BPON	širokopásmová pasívna optická sieť
CSMA/CD	protokol pre prístup k prenosovému médiu
DHCP	protokol obstarávajúci pridelenie IP adres koncovým zariadeniam
EPON	pasívna optická sieť na báze Ethernetu
FTB	technológia výroby pasívnych optických rozbočovačov
GePON	pasívna optická sieť na báze Gigabit Ethernet
GPON	pasívna optická sieť s prenosovou rýchlosťou 1 Gb/s
HDTV	televízia vo vysokom rozlíšení
IPTV	televízne vysielanie prenášané pomocou IP siete
ITU	medzinárodná telekomunikačná únia
MFD	vyjadrenie rozloženia intenzity žiarenia
MOS	metóda hodnotenia kvality VoIP hovoru
ODN	optická distribučná sieť
P2MP	komunikácie jedného bodu s viacerými bodmi
P2P	komunikácia bod-bod
PLC	výroba pasívnych optických rozbočovačov pomocou planárnej technológie
PON	pasívna optická sieť
QoS	Quality of Service, rezervácia a riadenie dátových tokov
RTCP	protokol pre riadenie RTP relácií na základe sledovania kvality toku
UPC	spôsob úpravy zakončenia optického vlákna v konektore
VoIP	služba pre prenos hlasu a zvuku v IP sieťach
WDM	multiplexovanie podľa vlnovej dĺžky
WDM-PON	pasívna optická sieť používajúca WDM technológiu
XG-EPON	pasívna optická prístupová sieť na báze Ethernetu s prenosovými rýchlosťami 10 Gb/s

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Optické prístupové siete.....	11
2.1	Charakteristika základných častí optických prístupových sietí	11
2.2	FTTx.....	11
2.3	Špecifikácia prenosu a prvky používané v ODN.....	12
2.3.1	Jednovidové optické vlákna.....	12
2.3.1.1	G.652.A, G.652.B, G.652.C, G.652.D.....	13
2.3.1.2	G.655, G.656	13
2.3.1.3	G.657A, G.657B.....	14
2.3.2	Mnohovidové optické vlákna.....	15
2.3.3	Pasívne optické rozbočovače.....	15
2.3.4	Konektory používané v optických prístupových sieťach.....	16
3	Point-to-point (P2P) a point-to-multipoint (P2MP) optické prístupové siete.....	17
3.1	Charakteristika P2P sietí.....	17
3.2	Siete typu P2MP – aktívne optické prístupové siete AON.....	18
3.3	Pasívne optické prístupové siete PON a typy PON sietí.....	19
3.3.1	APON.....	19
3.3.2	BPON.....	19
3.3.3	GPON.....	19
3.3.4	10GEPON.....	20
3.3.5	EPON.....	20
3.3.6	GEPON.....	20
3.3.7	XG-EPON.....	20
3.3.8	WDM-PON.....	20
4	EPON.....	21
4.1	Ethernetový rámec.....	21
4.2	Spôsob komunikácie.....	21
4.3	Multipoint Control Protocol.....	23
5	Triple Play.....	25
5.1	IPTV a protokoly využívané službou IPTV.....	25
5.2	Voice over IP – VoIP.....	26
5.2.1	Koncové zariadenia pre VoIP.....	27
5.3	Vysokorýchlostné pripojenie k Internetu.....	28
6	Špecifikácia služby VoIP.....	30
6.1	Protokoly používané vo VoIP.....	30
6.1.1	SIP protokol.....	30
6.1.2	Štandard RTP.....	31
6.1.3	H.323.....	32
6.2	Kodeky používané vo VoIP.....	34
6.2.1	G.711.....	34
6.2.2	G.726.....	34
6.2.3	G.729.....	35
6.3	Hodnotenie kvality služby VoIP.....	35
6.3.1	Mean Opinion Score – MOS.....	35
6.3.2	E-model.....	35

7	Konfigurácia pobočkovej ústredne Asterisk.....	37
7.1	Inštalácia softwarovej ústredne Asterisk.....	37
7.2	Konfigurácia Asterisku.....	38
7.3	Otestovanie funkčnosti.....	39
8	Meranie kvality VoIP.....	40
8.1	Konfigurácia DHCP serveru.....	41
8.2	OLT a základná konfigurácia OLT.....	41
8.3	Konfigurácia P2P komunikácie.....	45
8.4	Konfigurácia P2MP komunikácie prostredníctvom GePON.....	45
8.5	Meranie parametrov v GePON topológiách.....	45
8.6	Meranie kvality VoIP pomocou analyzátora IxChariot.....	46
8.6.1	Meranie vplyvu QoS na VoIP.....	47
8.6.2	Vplyv stratovosti paketov na kvalitu služby VoIP.....	48
9	Analýza nameraných výsledkov.....	49
9.1	Analýza vplyvu QoS na kvalitu VoIP.....	49
9.2	Analýza vplyvu stratovosti paketov na kvalitu služby VoIP.....	50
10	Záver.....	54
	Zoznam použitej literatúry.....	56
	Zoznam príloh.....	58

Zoznam ilustrácií

Obr. 1: FTTX.....	12
Obr. 2: Rozdelenie optických prístupových sietí.....	17
Obr. 3: Komunikácia bod-bod.....	18
Obr. 4: Schéma aktívnej optickej siete.....	18
Obr. 5: Typické zapojenie pasívnej optickej siete.....	19
Obr. 6: Stavba Ethernetového rámca.....	21
Obr. 7: EPON – zostupný smer.....	22
Obr. 8: EPON – vzostupný smer.....	22
Obr. 9: Postup prenosu hlasového signálu vo VoIP.....	26
Obr. 10: SW VoIP telefón Earthlink X-Lite.....	27
Obr. 11: VoIP telefón Cisco 7960.....	28
Obr. 12: Prostredie aplikácie pre mobilné VoIP.....	28
Obr. 13: Hierarchia protokolov vo VoIP.....	30
Obr. 14: Schéma strany odosielať a RTP paketov.....	31
Obr. 15: Schéma strany prijímať a RTP paketov.....	32
Obr. 16: Schéma hodnotenia MOS a E-modelu.....	36
Obr. 17: Otestovanie funkčnosti VoIP spojenia.....	39
Obr. 18: Schéma meranej siete.....	40
Obr.19: Nastavenie programu Hyperterminál.....	42
Obr. 20: Prihlasovací dialóg.....	42
Obr. 21: Výpis príkazu show card.....	43
Obr. 22: Skrátенý výpis príkazu show interface 1.1.....	43
Obr. 23: Výpis príkazu show ip interface mgmt.....	44
Obr. 24: Ukážka úspešného a neúspešného príkazu ping.....	44
Obr. 25: Schémy topológií použitých pri meraní.....	46
Obr. 26: Schéma simulovanej trasy.....	47
Obr. 27: Meranie vplyvu QoS na kvalitu VoIP.....	47
Obr. 28: Meranie vplyvu stratovosti paketov na VoIP.....	48
Obr. 29: Zmena hodnoty MOS pri meraní.....	49
Obr. 30: Graf vplyvu stratovosti paketov na kvalitu VoIP pri kodeku G.711.....	51
Obr. 31: Graf vplyvu stratovosti paketov na kvalitu VoIP pri kodeku G.729.....	52
Obr. 32: Vplyv stratovosti paketov na prenosovú rýchlosť pri kodeku G.711.....	52
Obr. 33: Vplyv stratovosti paketov na prenosovú rýchlosť pri kodeku G.729.....	53

Zoznam tabuliek

Tab. 1: Optické vlákna.....	13
Tab. 2: Vybrané parametre vlákien podľa normy ITU-T G.652.....	13
Tab. 3: Vybrané parametre vlákien podľa noriem ITU-T G.655 a G.656.....	14
Tab. 4: Vybrané parametre vlákien podľa normy ITU-T G.657.....	14
Tab. 5: Parametre mnohovidových optických vlákien.....	15
Tab. 6: Vybrané parametre optických konektorov.....	16
Tab. 7: Prenos IPTV.....	26
Tab. 8: Prehľad kodekov používaných vo VoIP.....	34
Tab. 9: Súhrn výsledkov meraní vplyvu QoS na kvalitu VoIP.....	49
Tab. 10: Prehľad priemerných hodnôt vplyvu stratovosti paketov na kodek G.711.....	50
Tab. 11: Prehľad priemerných hodnôt vplyvu stratovosti paketov na kodek G.729.....	51

1 ÚVOD

Optické prístupové siete sú siete, ktoré sú postavené na prenose informácií pomocou optického vlákna. Oproti metalickým prístupovým sietiam majú mnoho výhod, ale aj nevýhod. Medzi hlavné výhody patrí odolnosť voči elektromagnetickým vplyvom, vysoké prenosové rýchlosti a kapacita siete, vyššia bezpečnosť komunikácie a možnosť komunikácie na veľké vzdialenosti. Ich hlavné nevýhody sú vyššia cena pri inštalácii, krehkosť optického vlákna a vyššie náklady pri spájaní dvoch vlákien.

Všetky tieto nevýhody sú ale nepodstatné, keď si uvedomíme, čo nám môžu priniesť výhody tohto druhu komunikácie. V každom byte na celom sídlisku internetové pripojenie s rýchlosťou 100Mb/s, televízne vysielanie vo Full HD a telefonovanie cez Internet nazývané VoIP. Pri správne nastavenej cenovej politike spoločností poskytujúcich takéto pripojenie sa stáva z optickej prístupovej siete výhodný biznis, ktorý zahŕňa celú škálu pridružených služieb. Vyššia prenosová rýchlosť smerom od zákazníka, video na želanie, príjem TV kanálov v 3D formáte, to všetko zvládne jeden optický kábel.

Tieto tri služby - internetové pripojenie, televízia a hlasové služby - prenášané cez optickú sieť nesú spoločný názov Triple play. S rozmachom optických prístupových sietí sa čoraz viac spája najmä služba VoIP, ktorá dovoľuje telefonovanie za nižšie náklady ako telefonovanie pomocou mobilných telefónov alebo verejných telefónnych sietí.

Prvá časť bakalárskej práce hovorí o jednotlivých optických sietiach, aké druhy optických sietí poznáme, aké sú medzi nimi rozdiely a ktoré sú najpoužívanejšie. Potom sa zameriam na službu Triple play a rozoberiem prenos hlasu – VoIP. Na záver budú uvedené postupy použité pri meraní na zvolených topológiách, výsledky meraní a analýza nameraných hodnôt.

2 OPTICKÉ PRÍSTUPOVÉ SIETE

2.1 Charakteristika základných častí optických prístupových sietí

Optická prístupová sieť ODN (*Optical Distribution Network*) je súbor optických vlákien a zariadení, pomocou ktorých je signál prenášaný ku koncovému účastníkovi. ODN využívajú väčšinou siete typu FTTx.

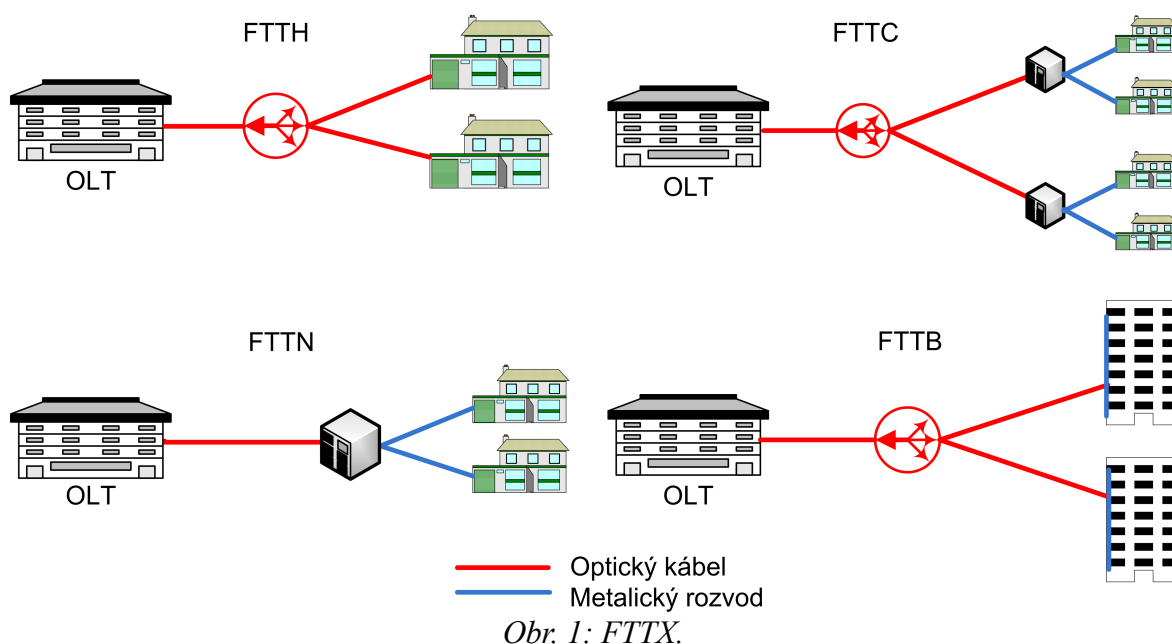
Optická prístupová sieť sa zvyčajne skladá z nasledujúcich častí:

- OLT (*Optical Line Termination*) – zariadenie umiestnené na rozhraní s prístupovou sieťou,
- ONU (*Optical Network Unit*) – zariadenie, ktoré slúži ako rozhranie medzi optickou a metalickou časťou FTTx siete,
- ONT (*Optical Network Terminal*) – rozhranie, ktorého úlohou je sprostredkovať funkcie (napr. v rámci služby Triple Play) medzi prístupovou sieťou a zariadeniami zákazníkov.

2.2 FTTx

Siete typu FTTx (Fiber to the X) majú viacero variant (viz. obr. 1). Ich názov popisuje dĺžku vedenia optického vlákna a miesto, kde je optické vlákno zakončené a prevádzané na metalické. Architektúry FTTx sietí sa delia [1]:

- FTTN (*Fiber to the Node*) – optické vlákno je privedené k distribučnému kabinetu, kde môže byť pripojených niekoľko stoviek účastníkov z blízkeho okolia pomocou metalických rozvodov alebo koaxiálnych káblov. FTTN je často využívaná telekomunikačnými operátormi,
- FTTC (*Fiber to the Curb*) – vlákno je privedené k rozvádzači, umiestnenom v tesnej blízkosti účastníckych prípojok. Koncové body siete sú pripojené pomocou metalických krútených rozvodov, alebo koaxiálnych káblov. Táto architektúra počíta s pripojením menšieho počtu užívateľov a s maximálnou vzdialenosťou 300m od účastníkovho rozvádzača,
- FTTB (*Fiber to the Building*) – pri použití takejto architektúry je optické vlákno privedené do vyhradených priestorov v prízemí, alebo suteréne budovy. V týchto priestoroch je zvyčajne umiestnený rozvádzač, od ktorého je konektivita šírená metalickými rozvodmi, zvyčajne kabelážou kategórie CAT-5 v rámci vnútornej LAN siete v priestore budovy. FTTB je vhodné najmä pre panelové výstavby, kde je vysoký počet bytových jednotiek,
- FTTH (*Fibre to the Home*) – vlákno je privedené priamo do domu alebo bytu a je zakončené u zákazníka. Výhodou tohto riešenia je, že zákazník môže mať konektivitu až 1Gbps, čo v dnešnej dobe pokryje potreby aj nadmerne náročného užívateľa. Tým, že je metalické vedenie obmedzené na minimum, je takisto tzv. „efekt úzkeho hrdla“ obmedzený na minimum.



2.3 Špecifikácia prenosu a prvky používané v ODN

Nosičom informácie pri optickom prenose je žiarenie. Prenos informácií môže byť realizovaný zmenou amplitúdy, kmitočtu, fáze, polarizácie alebo dĺžky trvania žiarenia. Výhodou optického prenosu oproti prenosu pomocou elektrických impulzov je, že pri optickom prenose neutrálne fotóny na seba nepôsobia. Nevznikajú tak elektrické ani magnetické polia. Optický spoj je tvorený zdrojom žiarenia, optickým prostredím a prijímačom žiarenia. [2]

2.3.1 Jednovidové optické vlákna

Optické vlákna môžeme podľa počtu vidov rozdeliť do dvoch skupín – jednovidové a mnohovidové vlákna. Jednovidové vlákna sú určené k prenosu jedného vidu. Vid je ustálená konfigurácia elektromagnetického poľa (tzv. stojaté vlnenie).

Jednovidové vlákna majú podstatne menší priemer jadra v porovnaní s mnohovidovými. Súvisí to s pojmom normalizovaná frekvencia. Ak je hodnota tejto frekvencie menšia ako 2.405, vlákno je jednovidové. Jednovidové vlákno dovoľuje vyššie prenosové rýchlosti (desiatky Gb/s) na väčšie vzdialenosti. Pôvodne sa používali ako backbone sietí, v dnešnej dobe je tento druh vlákien používaný aj v optických prístupových sieťach. Jednovidové vlákna používajú ako zdroj žiarenia laser. ITU-T ich rozdeľuje do viacerých kategórií, viz. tab. 1.

Tab. 1: Optické vlákna.

Vlákno	Označenie podľa ITU-T
Konvenčné	G.652.A, G.652.B, G.652.C, G.652.D
NZDSF	G.655, G.656
Menej citlivé na ohyby	G.657A, G.657B, (G.657.C)

Medzi konvenčné vlákna zaradujeme vlákna bežne používané a rozšírené v doterajšej praxi. NZDSF vlákna (Non-zero Dispersion Shifted fiber) odstraňujú nedostatky DSF vlákien, ako napríklad vzájomné rušenie jednotlivých kanálov. Vlákna, ktoré majú zníženú citlivosť na ohyb sa používajú hlavne v optických prístupových sieťach, pretože ohyb týchto vlákien s priemerom nižším ako 30 mm ešte nemá vplyv na prenos signálu.

2.3.1.1 G.652.A, G.652.B, G.652.C, G.652.D

Parametre jednotlivých druhov vlákien podľa štandardu ITU-T G.652 popisuje tab. 2:

Tab. 2: Vybrané parametre vlákien podľa normy ITU-T G.652.

Parameter	G.652.A	G.652.B	G.652.C	G.652.D
MFD	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm
Polomer ohybu	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm
Maximálny počet ohybov	100	100	100	100
Maximálny útlm na 1310 nm	0,5 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km
Maximálny útlm na 1550 nm	0,4 dB/km	0,35 dB/km	0,35 dB/km	0,3 dB/km
Odolnosť voči tlaku min.	0,69 GPa	0,69 GPa	0,69 GPa	0,69 GPa

Vlákna spĺňajúce normu G.652.A sú schopné preniesť 10 Gb/s do vzdialenosti 40 km. Vlákna podľa G.652.C majú podobné parametre ako vlákna normy G.652.A, ale umožňujú prenos signálu vo vlnových dĺžkach v rozsahu 1360 nm až 1530 nm, tzn. sú bez water peaku (1383 nm). Vlákna, ktoré popisuje norma G.652.D majú parametre podobné norme G.652.B, ale ich charakteristika opäť neobsahuje water peak. [3]

2.3.1.2 G.655, G.656

Norma G.655 popisuje jednovidové vlákno, ktorého absolútna hodnota chromatickej disperzie je väčšia ako niektoré nenulové hodnoty v celom rozsahu predpokladaného použitia. Tento rozptyl potlačuje rast FWM a nelinearitu, ktoré môžu byť obzvlášť škodlivé pri vlnovom multiplexovaní. Vlákno je optimalizované pre použitie vlnových dĺžok v rozmedzí 1500 nm – 1600 nm.

Vlákno spĺňajúce normu G.656 (tab. 3) má podobné parametre ako vlákno podľa normy G.655 a je

vhodné pre CWDM a DWDM systémy. Pracuje v oblasti vlnových dĺžok 1460 nm až 1625 nm. [4]

Tab. 3: Vybrané parametre vlákien podľa noriem ITU-T G.655 a G.656.

Parameter	G.655	G.656
MFD	8-11 μm	7-11 μm
Polomer ohybu	30 mm	30 mm
Maximálny počet ohybov	100	100
Maximálny útlm na 1550 nm	0,35 dB/km	0,35 dB/km
Maximálny útlm na 1625 nm	0,4 dB/km	0,4 dB/km
Odolnosť voči tlaku min.	0,69 GPa	0,69 GPa

2.3.1.3 G.657A, G.657B

Tab. 4: Vybrané parametre vlákien podľa normy ITU-T G.657.

Parameter	G.657.A		G.657.B		
	A1	A2	B1	B2	B3
Priemer jadra	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm
Priemer plášťu	125,0 μm	125,0 μm	125,0 μm	125,0 μm	125,0 μm
Polomer ohybu	15 mm	10 mm	15 mm	10 mm	7,5 mm
Maximálny počet ohybov	10	1	10	1	1
Strata pri ohybe – 1550 nm	0,25	0,75	0,03	0,1	0,5
Strata pri ohybe – 1625 nm	1	1,5	0,1	0,2	1
Maximálny útlm - 1310 nm	0,4 dB/km		0,5 dB/km		
Maximálny útlm - 1550 nm	0,3 dB/km		0,3 dB/km		
Odolnosť voči tlaku min.	0,69 GPa		0,69 GPa		

Optické káble tohoto štandardu (prehľad parametrov udávaných normou je v tab. 4) sú veľmi vhodné pre prístupové siete a najmä na inštaláciu v rámci budov. Vďaka veľkej ohybnosti a vysokým prenosovým rýchlostiam získavajú oproti medeným krúteným dvojlinkám mnoho výhod. Spoločnosť OSF vyrába optické vlákno, ktoré má maximálny polomer ohybu len 5 mm. Všetky vlákna sú vhodné pre technológiu WDM-PON.

Vlákna typu A sú vhodné pre použitie v pásmach O, E, S, C a L. Sú odvodené od vlákien kategórie G.653.D a majú rovnaké prenosové a prepojovacie vlastnosti. Vlákna typu B sú vhodné pre prenos vo vlnových dĺžkach 1310, 1550 a 1625 nm na obmedzené vzdialenosti, najmä v rámci budov. Tieto vlákna majú odlišný spôsob spájania ako vlákna podľa normy G.652, preto sa vlákna normy G.657.B2 v praxi nevyužívajú často. [5]

2.3.2 Mnohovidové optické vlákna

Mnohovidové optické vlákna dokážu preniesť v jadre vlákna viac ako jeden vid. Umožňuje to väčší priemer jadra vlákna. Signál sa šíri pomocou odrazov v jadre optického vlákna. Existuje niekoľko druhov mnohovidových optických vlákien, ktoré sa v praxi používajú. Líšia sa priemerom jadra a použitým zdrojom signálu, ktorý môže byť buď dióda, alebo v prípade novších mnohovidových vlákien aj laser.

Mnohovidové vlákno typu OM1 má priemer jadra 62,5 μm a ako zdroj svetla sa používa LED dióda. Tento druh vlákna sa vyskytuje zvyčajne len v starších inštaláciách, v nových sa už nepoužíva. Tento druh vlákna bol predstavený v roku 1985. Vďaka tomu, že priemer jeho jadra bol širší, bolo možné použiť LED diódy a dosiahnuť tak rýchlosť 10 Mb/s na vzdialenosť 2 km.

Vlákna typu OM2 bolo odpoveďou na zrýchlenie sieťových technológií a na zavedenie 100 Mb/s Ethernetu. Dokázal preniesť na vzdialenosť 2 km až 100 Mb/s. S príchodom novších technológií a so zavedením 10 Gb/s Ethernetového štandardu bolo nutné opäť zvýšiť rýchlosť mnohovidových optických vlákien, a preto vzniklo vlákno označené ako OM3. Ako zdroj svetla používa laser a maximálna prenosová rýchlosť doashuje hranicu 10 Gb/s na vzdialenosť 300 metrov. Pre porovnanie, OM1 dokázal preniesť 10 Gb/s len na vzdialenosť 26-33 metrov. Parametre mnohovidových optických vlákien sú uvedené v tab. 5. [6]

Tab. 5: Parametre mnohovidových optických vlákien.

Parameter		OM1	OM2	OM3
Útlm	850 nm	$\leq 3,5 \text{ dB/km}$	$\leq 2,7 \text{ dB/km}$	$\leq 2,7 \text{ dB/km}$
	1300 nm	$\leq 1 \text{ dB/km}$	$\leq 0,8 \text{ dB/km}$	$\leq 0,9 \text{ dB/km}$
Šírka pásma	850 nm	$\geq 200 \text{ MHz*km}$	$\geq 500 \text{ MHz*km}$	$\geq 1500 \text{ MHz*km}$
	1300 nm	$\geq 500 \text{ MHz*km}$	$\geq 800 \text{ MHz*km}$	$\geq 500 \text{ MHz*km}$
Numerická apertúra		0,275	0,2	0,2
Priemer jadra		62,5 μm	50 μm	50 μm

2.3.3 Pasívne optické rozbočovače

Pri používaní pasívnych optických prístupových sietí je potreba vyriešiť otázku, ako rozdeliť jeden optický signál medzi viacero účastníkov pripojených k optickej prístupovej sieti. Riešením je použiť pasívny optický rozbočovač, nazývaný aj optický splitter. Pasívny optický rozbočovač dokáže rozdeliť privedený optický signál do pomeru 1:x, kde x udáva počet jeho výstupov. Zvyčajne sa používajú rozbočovače s deliacim pomerom 1:2, 1:3, 1:4, 1:8, 1:16 a 1:32, ale existujú aj rozbočovače s inými pomermi. Pri najnovších typoch PON sietí sa už používajú aj pasívne optické rozbočovače s pomerom 1:64.

Pasívne optické rozbočovače sa podľa technológie výroby rozdeľujú do dvoch kategórií [7]:

- PLC (*Planar Lightwave Circuit*),
- FTB (*Fused Bionic Taper*).

PLC splittre sú vyrábané planárnou technológiou. Na kremíkovom substráte je technologickým postupom vytvorená požadovaná štruktúra s požadovaným množstvom výstupných portov, maximálne však 128. Táto technológia sa používa najmä pri výrobe splittrov s väčším počtom výstupov.

FTB rozbočovače sú vyrábané pomocou spojovania optických vlákien pri vysokej teplote a tlaku. Plášte vlákien sa natavia a jadrá spojovaných vlákien sa pritlačia k sebe. Takouto technológiou sa vyrábajú zväzky 2-4 vlákien, ktoré sa pre dosiahnutie väčšieho počtu výstupných portov radia kaskádovito za seba. Technológia FTB sa používa najmä pri menšom počte výstupných portov.

Výhodou takýchto pasívnych optických prvkov je ich nízka cena, možnosť pripojenia viacerých zákazníkov a dlhá životnosť. Nevýhodou je, že tieto prvky nie je možné monitorovať a spravovať ich, narozdiel od aktívnych prvkov.

2.3.4 Konektory používané v optických prístupových sieťach

Najpoužívanejšie druhy konektorov používaných v optických prístupových sieťach sú FC, SC, ST a LC konektory. Mimoriadne rozšírené sú najmä konektory typu SC. SC konektory sa používajú pri väčšine rozhraní na OLT, ONU jednotkách a pasívnych optických rozbočovačoch. LC konektory sú menšie, zvyčajne sa používajú v pároch. Sú používané hlavne pri SFP a XFP moduloch. Tieto moduly môžu byť simplexné (rozdelené na dve časti, jedna časť obsahuje vysielateľ a druhá časť prijímač optického signálu, používajú sa LC konektory), alebo WDM duplexné (zvyčajne použité SC konektory). Oproti SC konektorom sú menšie. FC konektory sa v dnešnej dobe používajú už málo, sú vytlačované SC konektormi. ST konektory sú používané ako zakončenie mnohovídných vlákien. V tab 6. je prehľad konektorov a ich vybraných parametrov.

Tab. 6: Vybrané parametre optických konektorov.

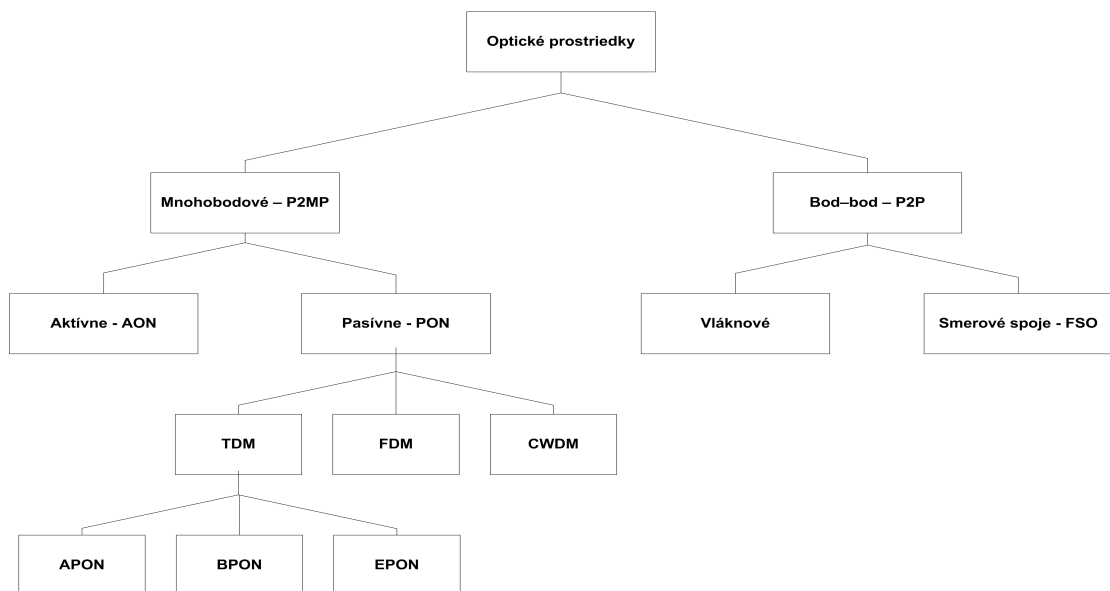
Parameter konektoru		FC	SC	LC	ST
Vysvetlenie názvu		Ferrule Connector	Subscriber/Standard Connector	Lucent/Little Connector	Straight tip
Spôsob pripojenia		šrobovací	zacvakávací	zacvakávací	bajonet
Priemer ferule		2,5 mm	2,5 mm	1,25 mm	2,5 mm
Odrazový útlm	APC	65 dB	65 dB	65 dB	50 dB
	UPC	50 dB	50 dB	55 dB	
Vložený útlm		0,2 dB	0,35 dB	0,2 dB	0,4 dB

3 POINT-TO-POINT (P2P) A POINT-TO-MULTIPOINT (P2MP) OPTICKÉ PRÍSTUPOVÉ SIETE

Optické prístupové siete môžeme rozdeliť podľa prístupových prostriedkov. Existujú dva základné druhy prístupových sietí používajúcich optický prenos dát:

- P2P siete,
- P2MP siete.

Tieto dva druhy sietí sa ďalej rozdeľujú, ako znázorňuje schéma na obr. 2 [8]:

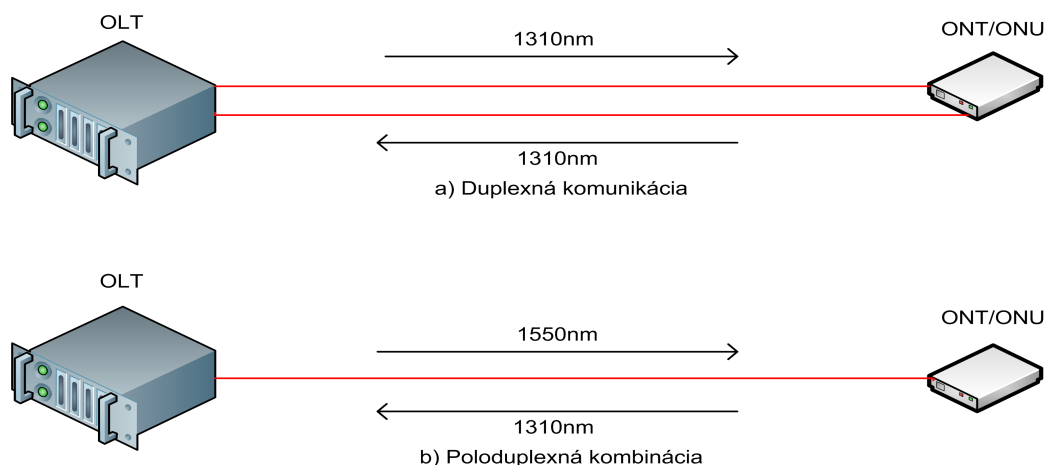


Obr. 2: Rozdelenie optických prístupových sietí.

3.1 Charakteristika P2P sietí

Siete typu P2P sú využívané najmä v chrbtových sieťach, ale dnes sa čoraz viac používajú aj optických prístupových sieťach. Zvyčajné použitie je také, že každé ONT je pripojená optickým vlákno priamo na optický port OLT jednotky. Výhodou je veľká prenosová kapacita a šírka pásma, ale tieto siete sú nákladnejšie na výstavbu, pretože ku každému koncovému bodu vedie jedno vlákno a preto je potrebné oveľa viac vlákna a prostriedkov na realizáciu.

Usporiadanie predstavuje P2P aktívnu optickú sieť. Tento druh sietí je považovaný za ideálny pre dvojsmerné služby, ako je Voice over IP alebo prenos dát. Dátový tok týchto sietí môže byť ľahko prispôsobený potrebám užívateľa[9]. Možnosti architektúry prenosu dát v P2P sieťach sú znázornené na nasledujúcom obr. 3:

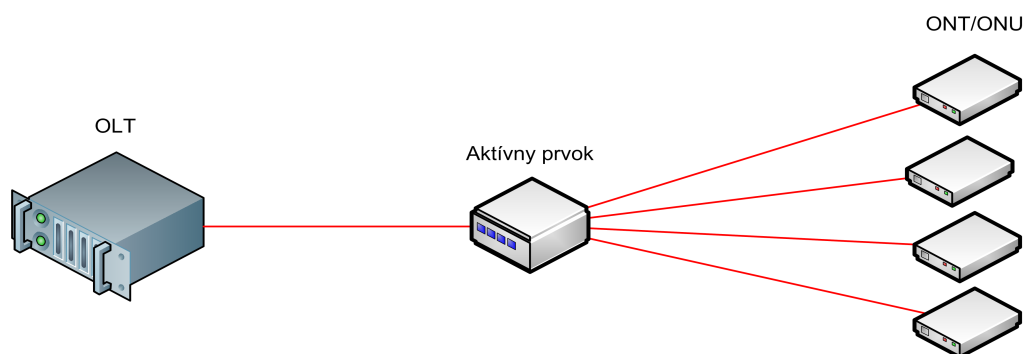


Obr. 3: Komunikácia bod-bod.

3.2 Siete typu P2MP – aktívne optické prístupové siete AON

Pre siete typu point-to-multipoint je charakteristické využitie v prístupových sieťach. Ich hlavnou výhodou je, že na jedno optické vlákno je možné pripojiť niekoľko koncových užívateľov. Znižuje sa tak náročnosť na finančné prostriedky a množstvo spotrebovaného optického vlákna. Medzi ústredňou, kde je OLT a koncovým zákazníkom, u ktorého je umiestnená ONU jednotka, sa nachádza aktívny alebo pasívny člen, ktorý rozdelí optický signál podľa pomeru ponúkaným členom. Najnovšie technológie dokážu rozdeliť signál v pomere až 1:128. P2MP siete môžeme rozdeliť na aktívne AON (Active Optical Networks) a pasívne optické siete PON (Passive Optical Network). Rozdiel v týchto sieťach spočíva v prvku, ktorý má na starosti delenie signálu.

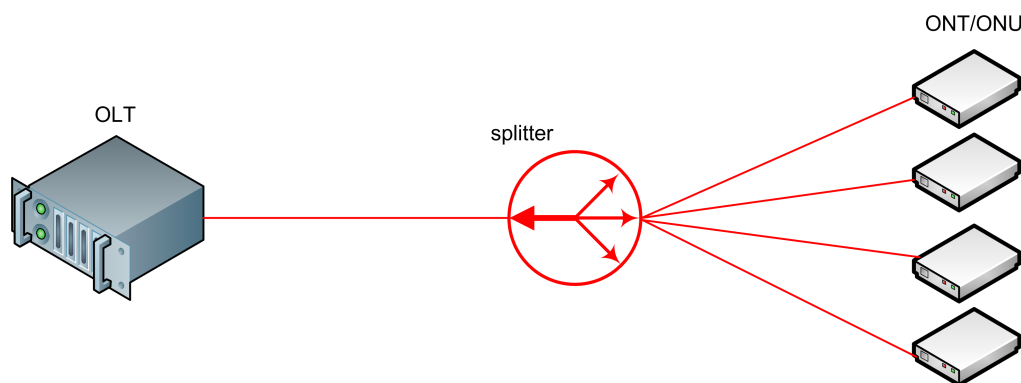
Aktívne optické siete prepojujú OLT a ONU jednotky prostredníctvom aktívnych sieťových prvkov ako opakovače, multiplexory a demultiplexory či rozbočovače, ktoré v smere k účastníkovi rozdeľujú a smerom od účastníka zase združujú signály medzi jednotlivými časťami optickej siete, ako znázorňuje obr. 4. Výhoda aktívnych optických sietí spočíva v zaistení podstatne väčších dosahov optickej siete, nevýhodou sú vyššie náklady na vybudovanie. [10]



Obr. 4: Schéma aktívnej optickej siete.

3.3 Pasívne optické prístupové siete PON a typy PON sietí

Pasívne optické prístupové siete nepoužívajú aktívny prvok (viz. obr. 5), ale pasívny optický rozbočovač, tzv. splitter. Ten optický signál nezosilňuje, ani neopakuje, len ho rozdelí v takom pomere, v akom je zostrojený. Výstupné signály pasívneho optického rozbočovača sú preto slabšie ako pri výstupe z aktívneho prvku.



Obr. 5: Typické zapojenie pasívnej optickej siete.

3.3.1 APON

Technológia založená na ATM je normalizovaná doporučením ITU-T G.983. ATM využíva prepínanie a prenos, ktoré môžu zaručiť QoS pre rozdielne typy služieb. Prenosové rýchlosti tejto služby sú:

- symetrických 155,52 Mb/s,
- nesymetrických 622,08 Mb/s smerom k účastníkovi, 155,52 Mb/s smerom od účastníka.

3.3.2 BPON

Broadband PON je alternatíva k APON, jej prenosová rýchlosť je symetrických 622,08 Mb/s. Pri tejto technológii sa využíva zvyčajne WDM – Wave Division Multiplex – vlnové multiplex. Vlnové dĺžky používané pri BPON sú obvykle 1260 – 1360 nm pre vzostupný a 1480 – 1500 nm pre zostupný smer.

3.3.3 GPON

Gigabit Passive Optical Network je podobná technológii EPON. Prenosové rýchlosti komunikácie smerom k užívateľovi sú 1,244 Gb/s alebo 2,488 Gb/s, smerom od užívateľa sú rovnaké. V rámci spätnej kompatibility sú implementované aj prenosové rýchlosti 155,52 a 622,08 Mb/s v oboch smeroch, ale v praxi sa tieto rýchlosti na technológii GPON zvyčajne nepoužívajú. Vlnové dĺžky používané pre prenos:

- 1480-1550 nm pre vzostupný smer,
- 1260-1360 nm pre zostupný smer.

3.3.4 10GEPON

Novovzniknutý štandard IEEE 802.3av definuje pasívnu optickú prístupovú sieť s rýchlosťou prenosu až 10 Gb/s a so spätnou kompatibilitou s technológiou EPON. Táto technológia je rovnako kompatibilná s technológiami WDM-PON. Prenosové rýchlosti dosahované 10GEPON sú:

- symetrických 10 Gb/s v oboch smeroch,
- nesymetrických 10 Gb/s smerom k účastníkovi a 1 Gb/s smerom do siete.

3.3.5 EPON

Koncepcia Ethernetu zvaná Ethernet in the First Mile viedla k zavedeniu štandardu IEEE 802.3ah. Z toho neskôr vznikla varianta Ethernet PON, skrátene EPON. Prenosová rýchlosť 1 Gb/s sa označuje ako 1000BASE-PX. Maximálna prenosová rýchlosť poskytovaná médiom, vrátane nákladov na réžiu je 1,25 Gb/s. EPON je najpoužívanejšou technológiou v rámci optických prenosových sústav. Pre prenos sa využíva vlnové delenie podľa smeru prenosu. Pre vzostupný smer sa používa vlnová dĺžka 1310 nm, pre zostupný 1490 resp. 1550 nm.

3.3.6 GEPON

GEPON je gigabitová verzia technológie EPON. Táto technológia je určená pre využitie v telekomunikáciách. Je plne kompatibilná s technológiou EPON. Ponúka jednoduchú správu, flexibilné použitie v praxi a prináša aj možnosť využívania služby QoS. Maximálna prenosová rýchlosť siete je 1,25 Gb/s. GEPON v sebe spája výhody Ethernetu a pasívnych optických sietí. Eliminuje použitie aktívnych optických prvkov medzi OLT a ONU, čo znižuje náklady na výstavbu siete a umožňuje jednoduchú správu siete. GEPON používa WDM technológiu a ponúka prenosovú rýchlosť 1 Gb/s do vzdialenosti až 20 km.

3.3.7 XG-EPON

Siete typu XG-EPON sú pasívne optické siete, ktoré aspoň v jednom smere ponúkajú prenosovú kapacitu 10 Gb/s. Existujú dve varianty XG-EPON sietí:

- 10 Gb/s smerom k účastníkovi a 2,5 Gb/s smerom od účastníka,
- symetrických 10 Gb/s v oboch smeroch.

Táto technológia je plne spätne kompatibilná s technológiou G-PON a obidve technológie môžu fungovať súčasne na jednej sieti.

3.3.8 WDM-PON

Wavelength Division Multiplex - Passive Optical Network je druh pasívnych optických sietí, pri ktorých sa využíva pre prenos vlnové multiplexovanie. Technológie, ktoré využívali TDMA pre zdieľaný prístup k médiu väčšieho množstva pripojených užívateľov už dosahujú ich výkonnostnú hranicu a preto je WDM-PON ďalším krokom k pripojení viacerých užívateľov súčasne. Na dosiahnutie maximálnych prenosových rýchlostí v prístupových sieťach sa bude používať kombinácia TDMA a WDM a vzniknú tak pravdepodobne hybridné siete WDM-TDMA PON. [11]

4 EPON

4.1 Ethernetový rámec

Ethernet PON je pasívna optická sieť, ktorá prenáša dáta v podobe Ethernetových rámcov definovaných podľa štandardu IEEE802.3. Stavbu Ethernetového rámca popisuje obr. 6:



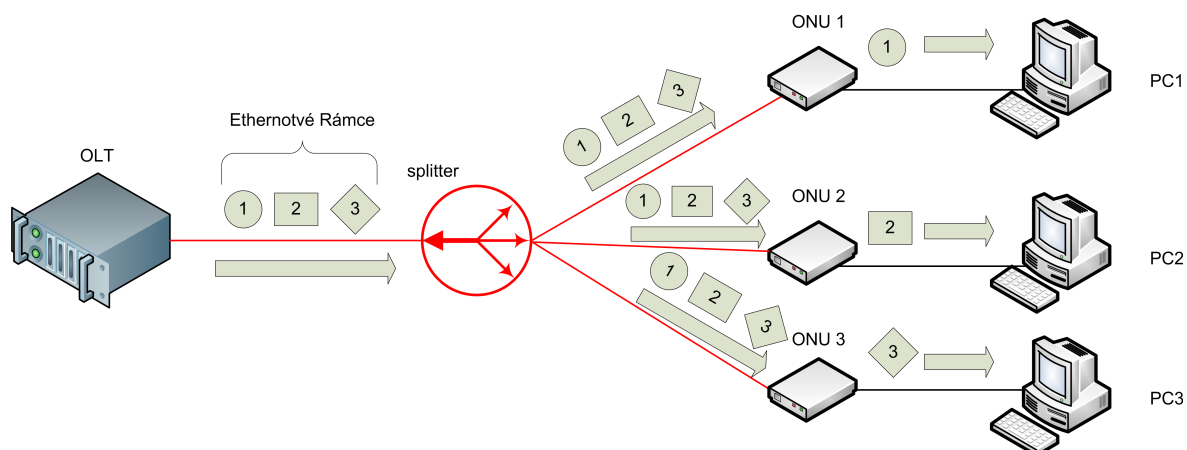
Obr. 6: Stavba Ethernetového rámca.

- preambula slúži k synchronizácii hodín príjemcu,
- SFD – Označenie začiatku rámca (*Start of Frame Delimiter*),
- MAC adresa cieľa – 48 bitová MAC adresa cieľového sieťového rozhrania, môže byť individuálna, skupinová, alebo všeobecná,
- zdrojová MAC adresa – identifikuje zdrojové sieťové rozhranie,
- 802.1Q – voliteľná časť nie je povinná; definuje virtuálnu sieť VLAN,
- typ Ethernetu a dĺžka – pre Ethernet II určuje typ vyššieho protokolu, pre IEEE 802.3 udáva dĺžku poľa dát,
- prenášané dáta – samotný obsah prenášaných dát v rámci,
- FCS – *Frame Check Sequence*, kontrolný súčet rámca.

4.2 Spôsob komunikácie

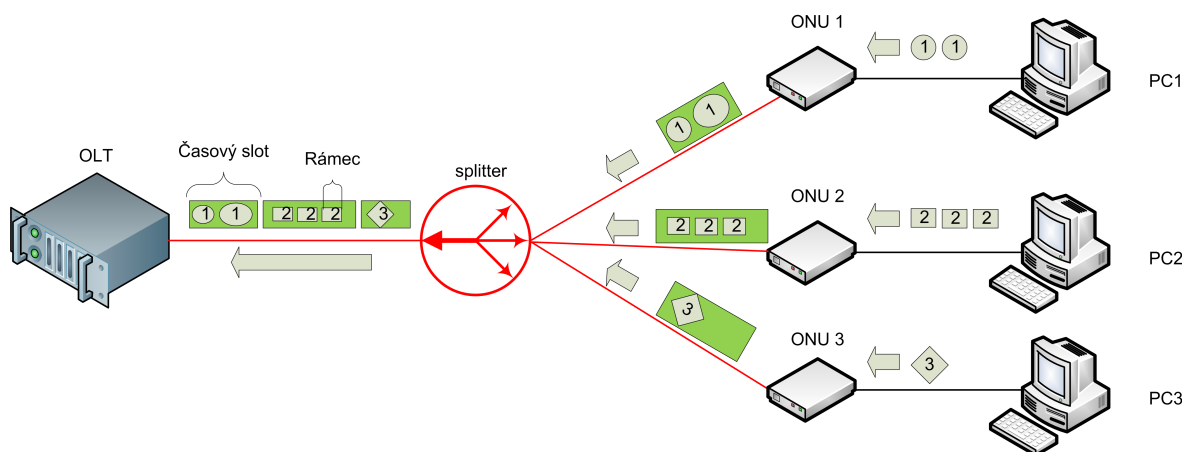
Štandard IEEE802.3 definuje dva základné druhy komunikácie prostredníctvom Ethernetu. Jedna z nich je prenos informácií cez zdieľané médium s použitím CSMA/CD protokolu. Druhým spôsobom komunikácie je spojenie koncových staníc pomocou switchov a využitia plnoduplexného prenosu na báze architektúry bod-bod. Vlastnosti EPON spájajú v sebe oba tieto spôsoby komunikácie.

V smere ku koncovej jednotke (obr. 7) sa používajú pasívne optické rozbočovače, preto toto správanie pripomína zdieľaný prístup k médiu. Paket vysielaný OLT je broadcast, cieľová ONU jednotka ho preberie na základe svojej MAC adresy [12].



Obr. 7: EPON – zostupný smer.

Pri vzostupnom smere, vzhľadom na použitie splittra, dátové rámce z ONU jednotiek dosiahnu len OLT a nie inú ONU jednotku. Toto správanie je podobné správaniu architektúry bod-bod. Rozdiel oproti bod-bod architektúre spočíva v tom, že aj keď sú rámce z rôznych ONU jednotiek vysielané súčasne, môže dôjsť ku kolízii. Preto je pre tento smer komunikácie potrebné použiť mechanizmus, ktorý zabráni kolízii dát a rozdelí zdieľané optické prenosové médium. Mechanizmus podobný CSMA/CD je v tomto prípade ťažko implementovateľný, pretože ONU nedokážu detekovať kolíziu v OLT kvôli vlastnostiam optického rozbočovača, resp. couplera. OLT dokáže zistiť kolíziu a informovať ONU jednotky jam signálom, ale oneskorenie prenosu v PON sieti, ktorej dĺžka môže presiahnuť 20 km, výrazne ovplyvní účinnosť takéhoto opatrenia.



Obr. 8: EPON – vzostupný smer.

Obr. 8 ilustruje vzostupný smer toku dát založený na delení prístupového času. ONU jednotky sú synchronizované na spoločný referenčný čas a každej jednotke je vyhradený časový slot. Každý takýto slot je schopný preniesť niekoľko Ethernetových rámcov. ONU zhromažďuje rámce prijaté od koncového zariadenia a čaká na svoj časový slot. Keď jeho časový slot nastane, jednotka vyšle všetky zhromaždené rámce plnou rýchlosťou, ktorá korešponduje jednej zo štandardných rýchlostí

Ethernetu, to znamená 10, 100, 1000 alebo 10 000 Mb/s. V prípade, že ONU jednotka nezhrmaždí žiadne rámce na odoslanie, vyšle 10 bitov, ktoré signalizujú nečinnosť [12].

4.3 Multipoint Control Protocol

Multipoint Control Protocol, označovaný aj ako MPCP je protokol zabezpečujúci pridelenie časových slotov. Využíva dve Ethernetové správy: GATE a REPORT. Správa GATE je vysielaná OLT k ONU jednotkám a prideľuje časové sloty. REPORT správa je vysielaná ONU jednotkami, prenáša informácie o stave ONU jednotiek (napríklad stav vyrovnávacej pamäte a pod.). Príjemcom takejto správy je OLT.

MPCP funguje dvoma spôsobmi: automatické objavenie a inicializácia, alebo normálny spôsob prevádzky. Mód pre automatické objavenie a inicializáciu je používaný pri pripojení novej ONU jednotky a zisťuje jej základné parametre ako jej MAC adresu a pod. Normálny spôsob prevádzky sa používa pre prideľovanie prenosových možností pre všetky inicializované ONU jednotky.

Proces automatickej aktualizácie a inicializácie prebieha v nasledovných krokoch:

1. OLT vyhradí čas, kedy nie je povolené vysielanie žiadnej z už inicializovaných jednotiek,
2. OLT pošle inicializačnú GATE správu, ktorá inzeruje začiatok a veľkosť inicializačného časového slotu. Táto správa obsahuje časový znak MPCP protokolu,
3. na GATE správu odpovedia len jednotky, ktoré nie sú inicializované. Po prijatí GATE správy nastaví ONU jednotka svoj čas podľa časového znaku MPCP protokolu,
4. keď časovacie zariadenie ONU jednotky dosiahne čas inicializačného slotu (tento čas je takisto doručený v GATE správe), jednotka pošle inicializačnú REPORT správu. Táto správa obsahuje zdrojovú adresu ONU jednotky a časový znak, kedy bola táto správa poslaná,
5. keď OLT obdrží REPORT správu od doposiaľ neinicializovanej ONU jednotky, uloží si jeho MAC adresu a čas, ktorý signálu zaberie cesta tam a späť. Tento údaj je rozdiel medzi časovou značkou prijatia REPORT správy zariadením OLT a časovou značkou obsiahnutej v REPORT správe.

Je dôležité uvedomiť si, že MPCP protokol nie je viazaný na konkrétnu prenosovú rýchlosť, ale je to len podporný protokol potrebný k doručovaniu rozhodnutí OLT zariadenia ku koncovým jednotkám. Fungovanie normálneho módu MPCP protokolu bez zisťovania prítomnosti nových ONU jednotiek je nasledovný:

1. MPCP dostane z vyšších vrstiev požiadavku na prenesenie GATE správy ku konkrétnej ONU jednotke.. Táto správa obsahuje čas, kedy môže táto ONU jednotka začať vysielanie a dĺžku vysielania,
2. MPCP vrstva v OLT a v každej ONU jednotke spravuje časovacie zariadenie. Po obdržaní GATE správy z vyššej vrstvy toto zariadenie označí MPCP správu vlastnou časovou značkou s časom zariadenia,
3. po obdržaní GATE správy zodpovedajúcej MAC adrese ONU jednotky, táto jednotka nastaví svoje lokálne registre na čas začiatku vysielania a dĺžku vysielania. ONU jednotka takisto overí, či čas príchodu GATE správy je podobný časovej značke vo vnútri tejto

správy. Pokiaľ sa tieto časy odlišujú od nejakej vopred definovanej hodnoty, ONU to považuje za stratu synchronizácie a prepne sa do neinicializovaného stavu. V tomto stave nie je schopná ONU jednotka prenášať údaje. Monitoruje prichádzajúcu premávku čakajúc na ďalšiu inicializačnú GATE správu, aby sa opäť inicializovala,

4. ak je čas príchodu GATE správy podobný ako časová značka v tejto správe, ONU jednotka automaticky aktualizuje svoj časovač na čas uvedený v časovej značke. Akonáhle nastane čas určený pre vysielanie ONU jednotky, začne táto jednotka vysielat'. Vysielanie môže obsahovať niekoľko Ethernetových rámcov. ONU jednotka sa uistí, že žiadny z rámcov nie je fragmentovaný. Pokiaľ sa nasledujúci rámec nezmestí do časového slotu vysielania, je odložený, a bude prenesený až pri ďalšom vysielaní [12].

5 TRIPLE PLAY

Pojem Triple Play (3P) je marketingové označenie pre zväzok troch služieb – vysokorýchlostné internetové pripojenie, IPTV (Television over IP) a VoIP (Voice over IP). Vysokorýchlostné pripojenie na internet a IPTV vyžadujú rýchly prenosový rýchlosť dát, služba VoIP je zase náročný na oneskorenie signálu, ktoré by malo byť čo najnižšie. Samotný názov Triple Play popisuje skôr schopný a funkčný biznis model, ako nejaký technologický štandard.

Poskytovatelia týchto služieb ponúkajú celé balíky, ale služby poskytujú aj jednotlivo. Samozrejme, pre koncového zákazníka je z finančného hľadiska výhodnejšie využívať celý balík služieb, ako platiť za služby jednotlivo.

5.1 IPTV a protokoly využívané službou IPTV

IPTV je prenos digitálneho televízneho vysielania prostredníctvom IP protokolu. IPTV používa štandardné protokoly počítačových sietí, preto je pre operátorov táto služba zaujímavá a zákazníkom môže poskytnúť nižšie ceny ako pri iných spôsoboch príjmu televízneho vysielania. Používanie set-top boxov je oproti koaxiálnym káblom výhodnejšie kvôli jednoduchšej manipulácii a kvôli jednoduchšiemu rozdeleniu vysielania na viacero televíznych prijímačov.

IPTV vysielanie môžeme rozdeliť do troch hlavných kategórií:

- priame vysielanie – zobrazuje sa program, ktorý televízna stanica práve vysiela,
- vysielanie s posunom – vysielaný program nebeží synchronizovane s vysielaním televízie. Užívateľ môže sledovať programy z archívu, alebo si môže pustiť práve vysielaný program od začiatku,
- video na želanie – Video on Demand (VoD) – zákazník si sám vyberá a platí za programy, prípadne filmy, o ktoré má záujem. Sledované programy sú nezávisle od vysielaní televízií.

Sieť, ktorá poskytuje IPTV vysielanie sa skladá z niekoľkých prvkov:

- Head-end – miesto, kde sa vysielanie dekoduje a transformuje do IP paketov,
- prenosová sieť – sieť, ktorá má na starosti prenos IP paketov s vysielaním IPTV,
- domová gateway – zariadenie, ktoré ukončuje pripojenie zo strany poskytovateľa,
- set-top box – zariadenie, ktoré prekladá IP pakety na signály, ktoré putujú do TV prijímača a ten ich zobrazuje.

V prípade vysielania VoD sa používajú ešte ďalšie dve časti siete. Prvou časťou je server, ktorý obsluhuje požiadavky od zákazníkov a na ktorom sú uložené všetky ponúkané videá a vysielania. Druhú časť tvorí portál, ktorý ponúka ďalšie služby spojené s IPTV ako zoznam ponúkaných videí a programov, platobný systém za VoD a pod.

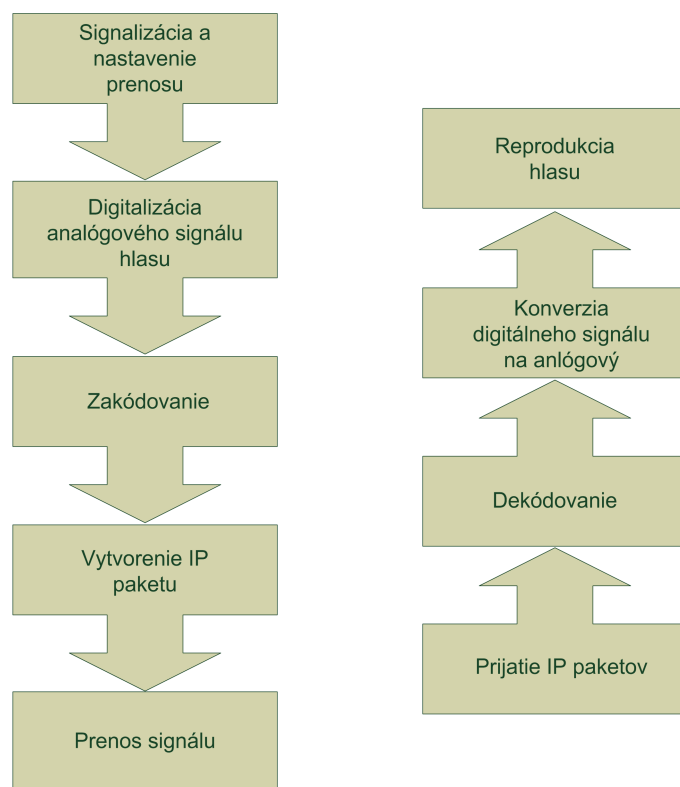
Pre prenos obrazu cez IPTV sa obvykle používajú 3 protokoly: UDP, RTP a RTSP. Požívané kodeky pre vysielanie sú zvyčajne MPEG-2 a MPEG-4, novým kodekom, ktoré sa pomaly dostávajú do popredia a časom pravdepodobne nahradia MPEG kodeky sú H.264 a VC-1. IPTV vysielanie je veľmi háklivé na stratovosť paketov, aj malé percento stratených paketov spôsobí zhoršenie kvality obrazu. S tým sa spájajú aj požiadavky na šírku pásma v sieti. Kodeky majú rozdielne požiadavky na šírku pásma, a rôzne dátové toky. Prehľad je v nasledujúcej tab. 7.

Tab. 7: Prenos IPTV.

Typ vysielania	SDTV		HDTV	
Typ kompresie	MPEG-2	H.264/MPEG-4	MPEG-2	H.264/MPEG-4
Prenosová rýchlosť	4-7 Mb/s	2-3 Mb/s	18-20 Mb/s	720p – 5-7 Mb/s 1080i – 8-14 Mb/s 1080p – 22 Mb/s

5.2 Voice over IP – VoIP

Voice over IP je služba, ktorá poskytuje prenos hlasu v rámci internetových sietí pomocou protokolov RTP, UDP a TCP/IP. VoIP umožňuje lacnejšie telefonovanie, ako klasické telefonovanie. VoIP prináša aj ďalšie služby okrem prenosu hlasu ako fax, posielanie krátkych textových správ SMS, alebo hlasové správy. Proces prenosu hlasu pomocou služby VoIP je popísaný na obr. 9.



Obr. 9: Postup prenosu hlasového signálu vo VoIP.

VoIP ponúka takisto zjednodušenie a zníženie finančných nákladov na vybudovanie telekomunikačnej siete v rámci firmy. Pri použití softvérovej telefónnej ústredne (napr. Asterisk) klesajú náklady oproti použitiu hardwarovej ústredne o značnú čiastku.

5.2.1 Koncové zariadenia pre VoIP

Koncové zariadenia pre VoIP sa dajú rozdeliť do troch skupín: softvérové VoIP telefóny, IP telefóny a mobilné VoIP telefóny.

Pravdepodobne najznámejším softwarovým VoIP prostriedkom je služba Skype. Práve táto služba ponúka prenos hlasu pomocou VoIP a ide o veľmi rozšírenú službu v rámci celého sveta. Ponúka telefonovanie v rámci svojej siete zadarmo a telefonovanie do ostatných sietí pevných a mobilných operátorov v rámci celého sveta za výrazne nižšie ceny ako klasický telefónny operátor. Novou službou na poli VoIP sa stáva Google Talk od spoločnosti Google, ktorá je veľkým hráčom na poli Internetových technológií a môže si tak vďaka pridruženým službám ako e-mail získať veľký počet užívateľov.

Všeobecne sú softwarové prostriedky pre VoIP plnohodnotnými náhradami hardwarových riešení. Okrem prenosu hlasu ponúkajú aj služby ako odosielanie a príjem SMS, faxov, alebo hlasových správ. Obvykle sú to programy nainštalované, podobne ako Skype, na počítačoch prípadne notebookoch. Ich grafické rozhranie sa často podobá skutočným telefónom, ako ilustruje obr. 10, vrátane tlačidiel a displeja. Pre používanie je potrebné, aby bol počítač alebo koncové zariadenie vybavené reproduktormi a mikrofónom. Veľmi populárnymi sa vzhľadom na vzostup mobilného internetu stali aplikácie inštalované priamo do mobilných telefónov a smartphonov (príklad na obr. 12), ktoré v základe službu VoIP nepodporujú.



Obr. 10: SW VoIP telefón Earthlink X-Lite.

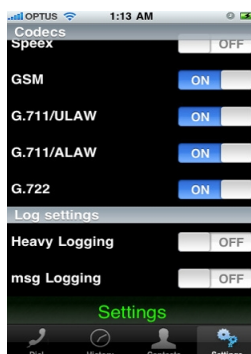
Hardwarové VoIP telefóny sú zariadenia, ktoré dokážu komunikovať pomocou protokolu IP. Sú na prvý pohľad nerozoznateľné od klasických telefónov (ako na obr. 11), ktoré IP protokol nepodporujú. V skutočnosti sú to malé počítače, ktoré sú vybavené FLASH pamäťou namiesto pevného disku, zvukovou kartou, jednoduchým procesorom, displejom, tlačidlami, alebo

dotykovou plochou a pri výkonnejších modeloch aj pamäťou RAM. Ďalej ešte obsahujú sieťové rozhrania, zvyčajne typu RJ-45, pomocou ktorých sa pripájajú do siete, prípadne poskytujú pripojenie pre ďalšie zariadenia. Lacnejšie modely VoIP telefónov obsahujú takéto rozhranie zvyčajne len jedno, pri drahších modeloch sú dve a VoIP telefón zároveň slúži ako mikroswitch. Medzi najznámejších výrobcov VoIP telefónov patria spoločnosti ako Cisco, Panasonic, Siemens, 3COM (v dnešnej dobe už divízia spoločnosti HP), alebo D-Link. Najlacnejšie modely VoIP telefónov sa pohybujú v cenových hladinách v rámci niekoľkých stoviek korún, za najdrahšie modely sa cena vyšplhá až na desiatky tisíc korún.



Obr. 11: VoIP telefón Cisco 7960.

Mobilné VoIP zariadenia sa dostávajú do popredia aj vďaka rýchlym mobilným prístupovým sieťam tretej generácie označovaných ako 3G siete. Tie ponúkajú relatívne vysoké prenosové rýchlosti, postačujúce pre prenos hlasu v rámci VoIP. Vzniká zaujímavá alternatíva ku klasickým mobilným sieťam, pretože v momente, kedy je užívateľ pripojený k internetu, či už prostredníctvom WiFi siete, alebo pomocou mobilného internetu schopný telefonovať s výrazne nižšími nákladmi ako pri klasickom telefonovaní.



Obr. 12: Prostredie aplikácie pre mobilné VoIP.

5.3 Vysokorýchlostné pripojenie k Internetu

Pojem „vysokorýchlostný“ je veľmi nejasný, a jeho definícia sa líši od normy k norme. Podľa

odporúčania I.113, vydaným ITU-T, je považované za vysokorýchlostné pripojenie k Internetu každé pripojenie, ktoré prevyšuje rýchlosť ISDN. Podľa FCC je hranica 4 Mb/s, OECD zase uvádza 256 kb/s. Všeobecne sa považuje za vysokorýchlostné pripojenie, ktoré má rýchlosti minimálne 256 kb/s v oboch smeroch prenosu. Táto hranica je v dnešnej dobe veľmi nízka, a predpokladá sa jej zvýšenie na 2 Mb/s. [13]

Vďaka veľkej kapacite optických vlákien je možné dnes ku koncovému užívateľovi priviesť pripojenie k internetu s rýchlosťou až 100 Mb/s. Táto rýchlosť však nie je konečná a s rozvojom technológií ako WDM-PON a 10GPON sa bude zvyšovať. Je pravdepodobné, že vyššie rýchlosti narazia na technologické hranice pamätí zariadení koncových užívateľov a rýchlosti zápisu na ne, aj keď s príchodom SSD pamätí sa môže táto hranica výrazne posunúť. Pri takejto rýchlosti Internetového pripojenia je aj prenos veľkých súborov otázkou pár minút. Samozrejme, musí sa pritom dbať na dodržiavanie autorských zákonov a copyrightu.

6 ŠPECIFIKÁCIA SLUŽBY VOIP

6.1 Protokoly používané vo VoIP

Služba VoIP je zahrnutá do viacerých protokolov, niektoré z nich sú dokonca aj Open Source. Medzi najpoužívanejšie protokoly patria protokoly ako SIP, H.323, MGCP, RTP, RTCP, alebo SDP. Jednoduchá štruktúra hierarchie protokolov je na nasledujúcom obrázku.

Hlas	Video	RTCP
Zvukové kodeky	Video kodeky	
RTP		
UDP		
IP		
Dátová vrstva		
Fyzická vrstva		
Hlasové dáta		

Obr. 13: Hierarchia protokolov vo VoIP.

6.1.1 SIP protokol

SIP (Session Initiation Protocol) bol vyvíjaný od roku 1996 a v roku 1999 bol predložený ako návrhový štandard RFC 2543 a ihneď zaujal svojou jednoduchosťou. V roku 2002 bol vydaný štandard RFC 3261, ktorý obsahuje jadro protokolu SIP, ktorý sa používa aj v dnešnej dobe. Špecifikuje 6 metód – INVITE, ACK, BYE, CANCEL, REGISTER a OPTIONS. V dnešnej dobe už tento protokol nie je taký jednoduchý, ako v dobe jeho vzniku. Existuje mnoho ďalších rozšírení, o ktorých pojednáva viac ako 80 noriem RFC.

SIP je signalizačný protokol, ktorý umožňuje zostavenie, modifikáciu a ukončenie relácie s jedným, alebo viacerými účastníkmi. Je veľmi podobný protokolom používaných v internetovej komunikácii ako HTTP alebo SMTP, preto je aj spôsob komunikácie založený na architektúre request/answer. Pre popis vlastností relácie sa používa SDP (Session Description Protocol) a

samotný hlas sa prenáša pomocou protokolu RTP (Real-Time Transport Protocol).

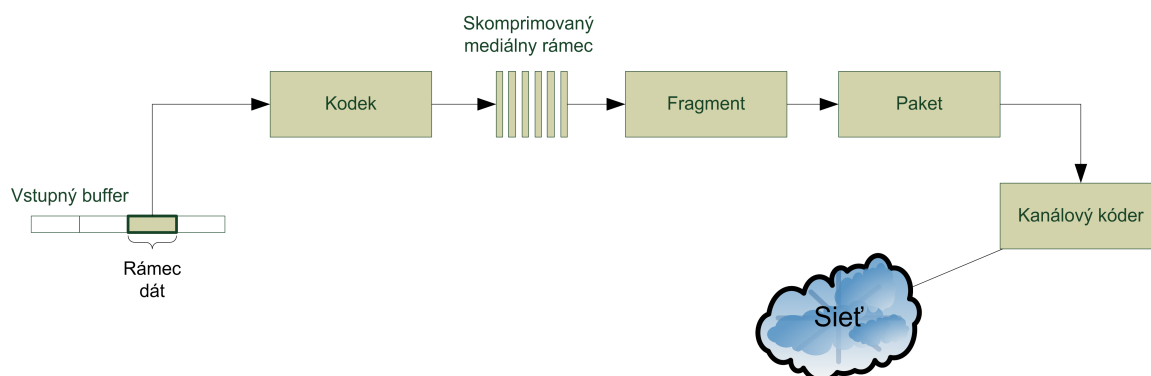
Pre vytvorenie a riadenie multimediálnej relácie musí SIP zaistiť 5 činností:

- lokalizácia účastníka,
- zistenie stavu účastníka,
- zistenie možností účastníka – podporované kodeky a pod.,
- vlastné nadviazanie spojenia,
- riadenie prebiehajúceho spojenia [14].

6.1.2 Štandard RTP

RTP štandard definuje stavbu paketov určených pre prenos zvuku a videa v sieťach postavených na protokole IP. Rozdeľuje sa na dve časti – samotný RTP protokol, ktorý ma na starosti prenos, a RTCP protokol, ktorý kontroluje parametre prenosu a QoS (Quality of Service). RTP protokol je prispôbený tak, aby eliminoval chyby vznikajúce pôsobením jitra. Umožňuje multicastové vysielanie paketov do siete.

Odosielateľ je zodpovedný za zachytenie a transformáciu audiovizuálnych dát pre prenos, generovanie RTP paketov a podieľa sa aj na oprave chýb a kontrole zahŕtenia upravovaním vysielaného toku na základe odozvy od prijímateľa signálu. RTP pakety sú odosielané v periodách v rádoch milisekúnd.

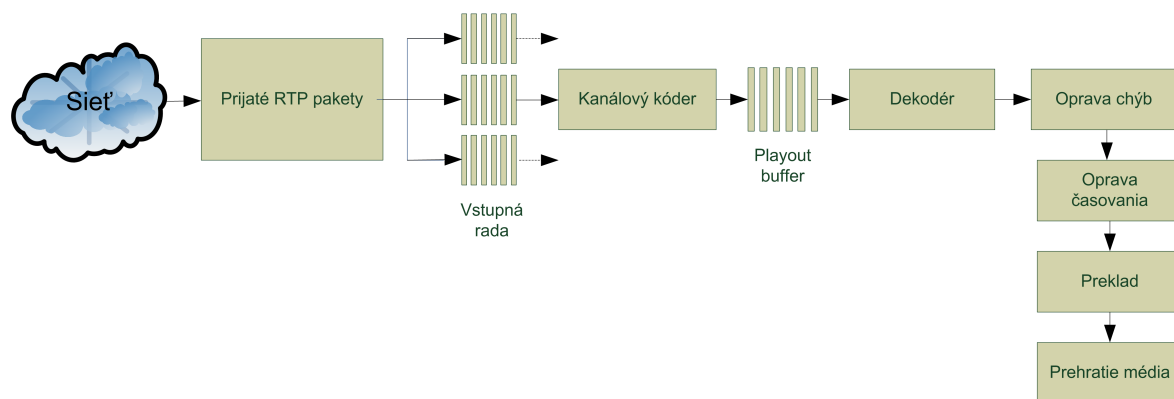


Obr. 14: Schéma strany odosielateľa RTP paketov.

Ako ukazuje obr. 14, nekomprimovaný mediálny obsah je zachytený do bufferu, z ktorého sú produkované komprimované rámce. Rámce môžu byť zakódované niekoľkými spôsobmi, závisí to na použitom kompresnom algoritme. Komprimované rámce sú uložené do RTP paketov a sú pripravené na odoslanie. Ak je rámec veľký, je rozložený do niekoľkých RTP paketov, ak sú rámce príliš malé, do jedného RTP paketu ich je uložených niekoľko. Kanálový kóder môže opraviť prípadné chyby, alebo upraviť poradie paketov pred odoslaním. Odosielateľ nesmie ani po odoslaní zahodiť dáta, ktoré by mohli byť potrebné pre opravu chýb alebo pre proces dekódovania. Odosielateľ je zodpovedný za pravidelné generovanie toku, ktorý generuje. Takisto prijíma správy od prijímateľa a v prípade potreby na ich základe upravuje vysielanie.

Prijímateľ dát zodpovedá za zozbieranie RTP paketov zo siete, opravu prípadných chýb, úpravu časovania, dekompresiu média a prezentáciu výsledku užívateľovi. Takisto posiela správy o kvalite

prijatého signálu odosielateľovi a udržiava databázu účastníkov relácie. Blokový diagram pre proces prijímania je zobrazený na obr. 15, niektoré operácie môžu mať v prípade potreby zmenené poradie.



Obr. 15: Schéma strany prijímateľa RTP paketov.

V prvom kroku prenosu prijímateľ zozbiera RTP pakety zo siete, skontroluje ich správnosť a vloží ich do vstupnej rady podľa odosielateľa. Pakety sú zo vstupnej rady posunuté do kanálového kódéra, kde sú upravené prípadné chyby. Odtiaľ putujú do playout buffera. Tam sa zoradia podľa časovej známky a upraví sa tak poradie paketov, ak bolo počas prenosu zmenené. Pakety zostávajú v playout bufferi až kým nie je skompletizovaný celý rámec. Výpočet oneskorenia, ktoré táto operácia vyžaduje je jedným z najdôležitejších aspektov implementácie RTP protokolu. Každý paket je totižto označený časom prehrávania v odpovedajúcom rámci.

Po kompletizácii jednotlivých rámcov putujú tieto do dekódéra a sú zoradené do požadovaného poradia. Na záver celého procesu je médium prehraté užívateľovi. Podľa použitého formátu média a koncového zariadenia môže byť prehrávaný každý tok samostatne, napríklad niekoľko videozáznamov pričom každý bude mať vlastné okno. Takisto môže nastať situácia, keď je potrebné zmiešať niekoľko rôznych dátových tokov do jedného, ako pri konferenčnom hovore. [15] RTP Control Protocol (RTCP) slúži k riadeniu RTP relácií na základe sledovania kvality toku. Pracuje na nižších vrstvách ako RTP protokol a v oveľa väčších intervaloch, rádovo sekúnd. Vzhľadom k tomuto faktoru RTCP protokol tvorí len malé množstvo prenášaných dát, približne len 5-6%. [15]

6.1.3 H.323

H.323 je multimediálny konferenčný protokol, ktorý zahŕňa hlasové, obrazové a dátové prenosy v sieťach s prepínaním paketov. Bol ustanovený ITU-T. V dnešnej dobe je H.323 najrozšírenejší protokol pre prenos hlasu a video-konferenčné hovory v IP sieťach. Najnovšia verzia H.323 protokolu je H.323v6.

Základné prvky siete, kde sa používa H.323 protokol sú:

- terminály,
- viacbodové kontrolné jednotky MCU,

- brány,
- gatekeeper,
- hraničné prvky.

Terminálom môže byť hardwarové zariadenie, alebo softwarový klient. Ide o koncové zariadenie, ktoré používa užívateľ.

MCU sú zodpovedné za správu viacbodových spojení ako napríklad konferenčné hovory. Obsahuje viacbodový ovládač, ktorý spravuje signály hovoru a môžu obsahovať viacbodové procesory, ktoré majú na starosti zmiešavanie jednotlivých tokov, prepínanie alebo iné vlastnosti prenosu mediálneho obsahu.

Brána, označovaná ako Gateway alebo skráteno GW je zariadenie obsahujúce Media Gateway Controller (MGC) a Media Gateway (MG). Tieto dve zariadenia môžu fungovať ako samostatne, tak aj súčasne. MGC obsluhuje signály hovoru a ostatné funkcie, ktoré nie sú spojené s prenosom samotného obsahu. MG má na starosti obsluhu a správu samotného obsahu, ktorý je prenášaný. GW slúži aj ako rozhranie medzi H.323 a inými sieťami ako verejná telefónna sieť, systémami H.320 a inými H.323 sieťami používajúcimi proxy.

Gatekeeper je voliteľný komponent v H.323 sieťach a slúži na preklad adres a na kontrolu prístupu. Gatekeeper dovoľuje, aby boli hovory spájané priamo medzi koncovými bodmi, alebo môže smerovať hovor cez seba, a dovoľuje tak funkcie ako presmerovanie hovorov v prípade, že je účastník obsadený.

Peer prvky sa zvyčajne umiestňujú spolu s Gatekeeperom. Majú za úlohu výmenu informácií o adresách a zúčastňujú sa na autorizácii hovoru vo vnútri a medzi jednotlivými administratívnymi doménami. Peer prvky môžu agregovať informácie o adresách z dôvodu redukcie množstva informácií o cestách, ktoré putujú sieťou. Hraničné prvky sú zvláštnym druhom peer prvkov. Pôsobia medzi dvoma administratívnymi doménami. Pomáhajú pri autentifikácii a autorizácii hovoru priamo medzi dvoma administratívnymi doménami.

H.323 je len špecifikáciou, ako majú jednotlivé prvky spolupracovať a fungovať. Komunikácia pomocou H.323 protokolu zahŕňa používanie niekoľkých ďalších protokolov:

- H.225.0 definuje signalizáciu hovorov medzi koncovými bodmi a Gatekeeperom,
- RTP a RTCP,
- H.225.0 Annex G a H.501 určujú procedúry a protokoly pre komunikáciu vo vnútri a medzi peer prvkami,
- H.245 je protokol používaný pre kontrolu založenia a ukončenia kanálov média v rámci kontextu hovoru a vykonáva kontrolu konferencie,
- H.450.x je séria podporných servisných protokolov,
- H.460.x popisujú rozšírenia základného protokolu H.323; sú nezávislé na jeho verzií,
- T.120 špecifikuje ako má prebiehať výmena dát,
- T.38 definuje prenos signálu faxovej služby,
- V.150.1 definuje prenos signálov modemu,
- H.235 popisuje bezpečnosť v systémoch používajúcich H.323 [16].

6.2 Kodeky používané vo VoIP

Kodeky sú obecné chápané ako rozličné matematické modely používané digitálne zakódovanie a kompresiu analógovej zvukovej informácie. Mnoho z týchto modelov počíta so schopnosťou ľudského mozgu vytvoriť správny dojem aj z neúplných informácií. Algoritmy pre kompresiu zvuku sa spoliehajú na to, že ľudské vnímanie má tendenciu interpretovať to, čo veríme, že by sme mali počuť skôr než to, čo skutočne počujeme. Účelom rozličných kódovacích algoritmov je vytvoriť rovnováhu medzi účinnosťou a kvalitou.

Pôvodne termín kodek znamenal skratku od anglických slov Coder/DECoder (KOder/DEKóder), čo bolo zariadenie ktoré konvertovalo signál medzi jeho analógovou a digitálnou podobou. V dnešnej dobe toto označenie vystihujú skôr slová Compression/DECompression (Kompresia/DEKompresia). Stručný prehľad najpoužívanejších kodekov obsahuje nasledujúca tabuľka [17]:

Tab. 8: Prehľad kodekov používaných vo VoIP.

Kodek	Prenosová rýchlosť dát	Kodek vyžadujúci licenciu
G.711	64 kb/s	Nie
G.726	16, 24, 32, alebo 40 kb/s	Nie
G.729	8 kb/s	Áno
G.723.1	5,3 alebo 6,3 kb/s	Áno
GSM	13 kb/s	Nie
iLBC	13,3 kb/s alebo 15,2 kb/s	Nie
Speex	Medzi 2,15 kb/s až 22,4 kb/s	Nie

6.2.1 G.711

Tento kodek je základným kodekom pre siete PSTN. Existujú dva varianty, variant μ -law je používaný v USA a v Japonsku, na prenos hlasu je určených len 7 bitov a 8. bit je signalizačný. Variant A-law sa používa v ostatných častiach sveta a pre prenos hlasu využíva všetkých 8 bitov. Kodek G.711 má tú výhodu, že jeho spracovanie zaťažuje procesor len minimálne. [17]

6.2.2 G.726

Kodek je známy aj pod názvom ADPCM (Adaptive Differential Pulse-Code Modulation) a podporuje hneď niekoľko prenosových rýchlostí, obvykle 16, 24 a 32 kb/s. Softwarová ústredňa Asterisk však podporuje len ADPCM-32, čo je najpoužívanejší z G.726 kodekov. Kvalita prenášaného hlasu je pri G.726 takmer identická s G.711, avšak tento kodek používa len polovičnú šírku pásma. Je to možné vďaka tomu, že odosiela len toľko informácií, aby dokázali opísať rozdiel medzi aktuálnym a predchádzajúcim snímkom. Neposiela teda celú informáciu o signále. Tento kodek nedovoľuje prenášať signály pre fax a modem, ale vďaka jeho nízkej záťaži na procesor a nízkym nárokom na šírku pásma je stále obľúbený a často využívaný. [17]

6.2.3 G.729

Napriek tomu, že tento kodek využíva šírku pásma len 8 kb/s, ponúka dobrú reprodukciu zvuku. G.729 je patentovaný, a preto ho nie je možné využívať bez zakúpenia licencie. Napriek tomu je často využívaný a podporuje ho mnoho koncových zariadení, či už hardwarových, alebo softwarových. Vzhľadom na veľký kompresný pomer, tento kodek vyťažuje CPU vo veľkej miere. [17]

6.3 Hodnotenie kvality služby VoIP

Počítačové siete založené na prepínaní paketov boli vyvíjané pre aplikácie, ktoré nepotrebovali komunikovať v reálnom čase, ako napríklad prenos dát alebo e-mail. Tento druh prevádzky neovplyvňuje stratovosť paketov, alebo oneskorenie. Zvyčajne sú pre tieto javy vytvorené protokoly, ktoré problém s oneskorením alebo stratou paketov vyriešia dodatočne. Vzhľadom na to, že VoIP komunikuje v reálnom čase, bolo potrebné zaviesť meranie kvality VoIP služieb. Existuje niekoľko metód, ktorým sa kvalita VoIP hodnotí. Medzi najpoužívanejšie patria MOS (Mean Opinion Score) a E-model. Meranie kvality služby VoIP môže byť prevedené aktívnym, alebo pasívnym spôsobom.

Pri aktívnom spôsobe merania kvality je do siete poslaný známa vzorka hlasu z jedného koncového bodu k druhému. Koncový bod v úlohe prijímateľa túto vzorku porovná s pôvodnou a odošle výsledok tohto porovnania. Vzhľadom na komplexnosť tohto merania, toto meranie nie je vhodné pre meranie kvality prenosu v reálnom čase kvôli jeho výpočetnej náročnosti.

Pasívne metódy nepoužívajú vzorku hlasu, preto sú zvyčajne používané pre meranie v reálnom čase a na vybudovaných sieťach.

6.3.1 Mean Opinion Score – MOS

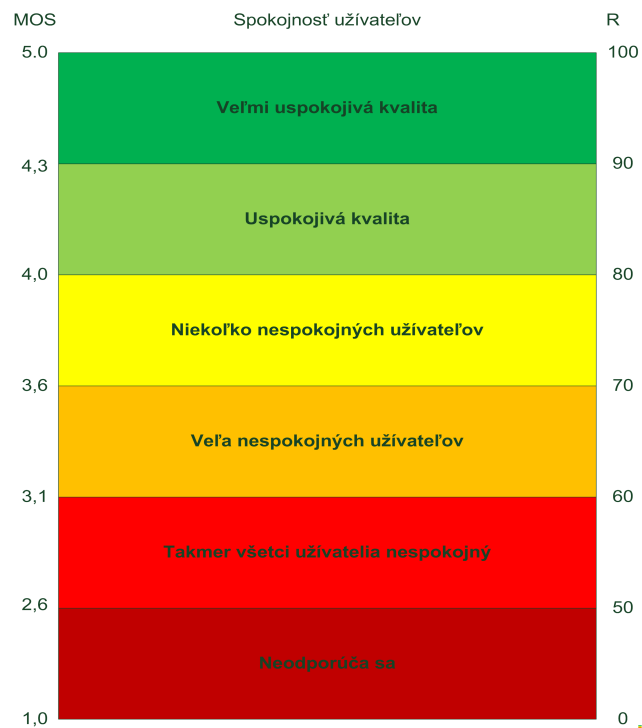
MOS hodnotí celkovú kvalitu hlasu preneseného sieťou. Rozsah hodnotenia MOS je na stupnici od 1 do 5, kde 1 je najhorší výsledok a 5 reprezentuje najlepší možný výsledok. Skutočná hodnota MOS je získavaná od skupiny ľudí, ktorí počúvajú ten istý hovor a hodnotia ho. Na základe týchto hodnotení a pomocou zložitých algoritmov testovacie zariadenie vypočítava hodnotu MOS. Zariadenie je potom schopné zobrazit' ako celkové skóre MOS, tak aj hodnotenie jednotlivých účastníkov. Poskytuje tak dobrý prehľad o výkonnosti siete a o kvalite poskytovanej VoIP služby. Hodnota MOS môže byť získaná aj z hodnoty E-modelu, ako ilustruje obr. 16.

6.3.2 E-model

Doporučenie ITU G.107 predstavilo E-model. Výsledkom výpočtov pre E-model je jednoduchá skalárna veličina nazývaná R faktor. Je odvodená z oneskorení a z vlastností zariadení, ktoré negatívne ovplyvňujú prenášaný signál. Získanú hodnotu R faktoru je možné priradiť približnej hodnote MOS. Hodnota R faktoru sa vypočíta podľa vzorca $R = R_o - I_s - I_d - I_e + A$, kde:

- R_o je pomer signálu k šumu,
- I_s vyjadruje nežiadúce vplyvy priradené k prenosu hlasového signálu,
- I_d značí vplyvy oneskorené po prenose hlasu,

- Ie vyjadruje vplyvy použitého vybavenia, ako napríklad použitých kodekov a pod.,
- A znamená faktor zisku.



Obr. 16: Schéma hodnotenia MOS a E-modelu.

7 KONFIGURÁCIA POBOČKOVEJ ÚSTREDNE ASTERISK

Asterisk je open source hybrid TDM a packet voice PBX. Jedná sa o IVR (*Interactive Voice Response*) platformu s funkčnosťou ACD (*Automatic Call Distribution*). Jedná sa o jedno z najrozšírenejších, flexibilných a ľahko rozširiteľných riešení v oblasti integrovaného telekomunikačného softwaru. Toto riešenie ponúka kompletne open source softwarovú PBX, ktorá funguje na platformách Linux a Unix poskytujúca všetky vlastnosti, ktoré sa očakávajú od PBX. V dnešnej dobe je tento software dostupný aj pre iné operačné systémy a platformy, vrátane OS Windows, kde je známy ako AsteriskWin32. Distribúcia spadá pod podmienky GNU, povolenú výnimku tvorí spojenie s OpenH323 za účelom dostupnosti H.323 podpory. Systém je navrhnutý tak, aby vytvoril rozhranie telefónnemu hardwaru, softwaru a ľubovoľnej telefónnej aplikácii. Asterisk môže byť použitý v týchto aplikáciách [18]:

- Rôzne VoIP gateway (MGCP, SIP, H.323),
- Pobočková ústredňa (PBX),
- Voicemail služba s adresárom,
- Server interaktívneho hlasového sprievodcu IVR,
- Softwarová ústredňa,
- Konferenčný server,
- Šifrovanie telefónnych alebo faxových volaní,
- Preklad čísel,
- Prediktívny volič, a mnoho iných aplikácií.

Asterisk podporuje väčšinu najviac rozšírených kodekov v oblasti VoIP ako G.711, G.723.1, G.726, G.729, GM, iLBC, alebo Speex. Asterisk podporuje len paketizáciu 20 ms, čo je treba brať do úvahy pri konfigurácii klientov.

7.1 Inštalácia softwarovej ústredne Asterisk

Na serveri bol nainštalovaná linuxová distribúcia Ubuntu, preto nebolo nutné potrebné aplikácie kompilovať a využil som balíčkového systému, ktorý táto distribúcia ponúka. Všetky použité príkazy boli zadávané do príkazového riadku, ktorý táto distribúcia ponúka – Terminálu.

Pri inštalácii jednotlivých komponentov sú potrebné administrátorské práva, tzv. práva root.

```
pc1n311@pc1n311:~$ sudo su
[sudo] password for pc1n311: <password>
root@pc1n311: /home/pc1n311#
```

Pred samotnou inštaláciou je vhodné aktualizovať systém balíkov. Zaručíme tým stiahnutie aktuálnej verzie požadovaného softwaru:

```
apt-get update
```

Ako bolo spomenuté vyššie, Asterisk sa nachádza v balíčkovom systéme tejto distribúcie, preto inštalácia spočíva v zadaní jedného príkazu:

```
apt-get install asterisk
```

Počas inštalácie systém vyzve k zadaniu predvoľby aktuálneho umiestnenia (štátu) v ktorom sa nachádzam. Predvoľba štátu musí byť podľa štandardu ITU. Konfigurácia tejto položky neobmedzuje základnú funkcionálnu, ktorá bola k účelu otestovania služby postačujúca. Pre Českú republiku je táto predvoľba 420.

7.2 Konfigurácia Asterisku

Po dokončení inštalácie som prišiel k samotnej konfigurácii účtov a dialplánu. Konfigurácia nastavení Asterisku sa robí editáciou konfiguračných súborov pomocou ľubovoľného textového editoru. K editácii všetkých potrebných konfiguračných súborov som použil jednoduchý textový editor nano.

Vytvorenie SIP kanálu sa v Asterisku nastavuje v základnom adresári aplikácie Asterisk, teda /etc/asterisk. Pre upravenie súboru sip.conf použijeme nasledujúci príkaz:

```
nano /etc/asterisk/sip.conf
```

V tomto súbore je potrebné nastaviť povolené a zakázané kodeky:

```
dialallow=all ;zakázanie všetkých kodekov
allow=ulaw ;povolenie kodeku G.711 u-law
allow=alaw ;povolenie kodeku G.711 a-law
allow=gsm ;povolenie kodeku GSM
```

Ostatné konfigurácie, ktoré sa nachádzajú v tomto súbore obsahujú konfiguráciu od základných až po pokročilé, ktorými sú zmena portu SIP (defaultne 5060), zmena transportného protokolu z UDP na iný, nastavenie zabezpečenia SIP hlavičiek a iné.

Teraz je potrebné vytvoriť SIP účty. V konfigurácii som vytvoril 5 účtov s menami 1001 – 1005. Tieto čísla sú skutočne menami, číslovanie sa v SIP kanále nenastavuje. Pre väčšiu prehľadnosť je dobré dať vytvorenú konfiguráciu na koniec súboru, zjednoduší to hľadanie v prípade potreby zmien. Pre jednoduchosť uvediem len jeden výpis konfigurácie účtu SIP. Ostatné sa robia rovnako, samozrejme, so zmenenými prihlasovacími údajmi a menom.

```
[1001] ;účet s menom 1001
type=friend ;typ účtu, friend znamená, že účet môže odosielať
;aj prijímať SIP správy
host=dynamic ;možnosť prihlásenia z ľubovoľnej IP adresy
context=bphan479 ;kontext účtu - jeho umiestnenie v dialpláne
username=1001 ;meno účtu pri prihlasovaní
secret=1001 ;heslo účtu
callerid=1001 <1001> ;údaj, ktorý sa zobrazí volanému na displeji
```

Po vytvorení všetkých účtov zmeny uložíme a zatvoríme. V editore nano sa používa skratka Ctrl+X.

Ďalším krokom je konfigurácia číslovania a dialplánu, ktorý je obsahom konfiguračného súboru extensions.conf. Tento súbor sa nachádza v adresári aplikácie Asterisk. Editovanie je obdobné ako v prípade sip.conf. V tomto konfiguračnom súbore sa nastavujú rôzne pokročilé nastavenia ako číslovanie, nastavenia trunku, IVR a iné. Pre účel tejto bakalárskej práce však stačí, aby mohli vytvorené SIP účty po registrácii vytvoriť spojenie.

```
nano etc/asterisk/extensions.conf
[bphan479] ;názov kontextu zadaný pri vytváraní SIP účtu
exten => _100.,1,Dial(SIP/${EXTEN})
```

Zavedenie každého nového príkazu začína vždy `exten =>`, časť `_100`. znamená, že vytočením čísla 100. (bodka znamená ľubovoľný znak v rozsahu 0-9, teda napr. 1003) sa vykoná príkaz Dial (vytočenie) SIP účtu s príslušným názvom (SIP/\${EXTEN}). Je možné, aby bol celý dialplán rozpísaný pre všetky účty zvlášť, ale vzhľadom na pomenovanie SIP účtov číslami ako 1001-1005 je možné použiť makro {EXTEN}. To znamená, že vytočením čísla napr. 1003 sa automaticky vytočí účet s menom 1003. Číslo 1 medzi zvoleným číslom a príkazom Dial znamená číslo poradia kroku v prípade, že by sa príkaz skladal z viacerých krokov.

Týmto je dokončená konfigurácia piatich účtov vrátane ich prepojenia v dialpláne. Asterisk beží na pozadí hneď po jeho nainštalovaní, alebo po zapnutí počítača. Po zmene konfiguračných súborov je potrebné reštartovať konfiguráciu pre aplikovanie týchto zmien. Toto je najlepšie vykonať z príkazového riadku Asterisku, ktorý spustíme príkazom:

```
asterisk -rvvv
```

Je potrebné, aby príkaz obsahoval parameter `-r`, pretože bez neho by došlo k spusteniu novej inštancie Asterisku. Počet parametrov v udáva stupeň informácií, ktoré sa budú do príkazového riadku vypisovať. V prípade potreby je možné tento stupeň zmeniť. Reštart konfigurácie vykonáme príkazom `reload` a opustíme príkazový riadok Asterisku príkazom `exit`.

7.3 Otestovanie funkčnosti

Po konfigurácii som na dvoch hardwarových telefónoch zaregistroval účty s menami 1001 a 1002. Vytvoril som medzi nimi hovor a analyzoval som premávku na sieti pomocou paketového analyzátora Wireshark. Výsledok testu je zobrazený na obr. 17.



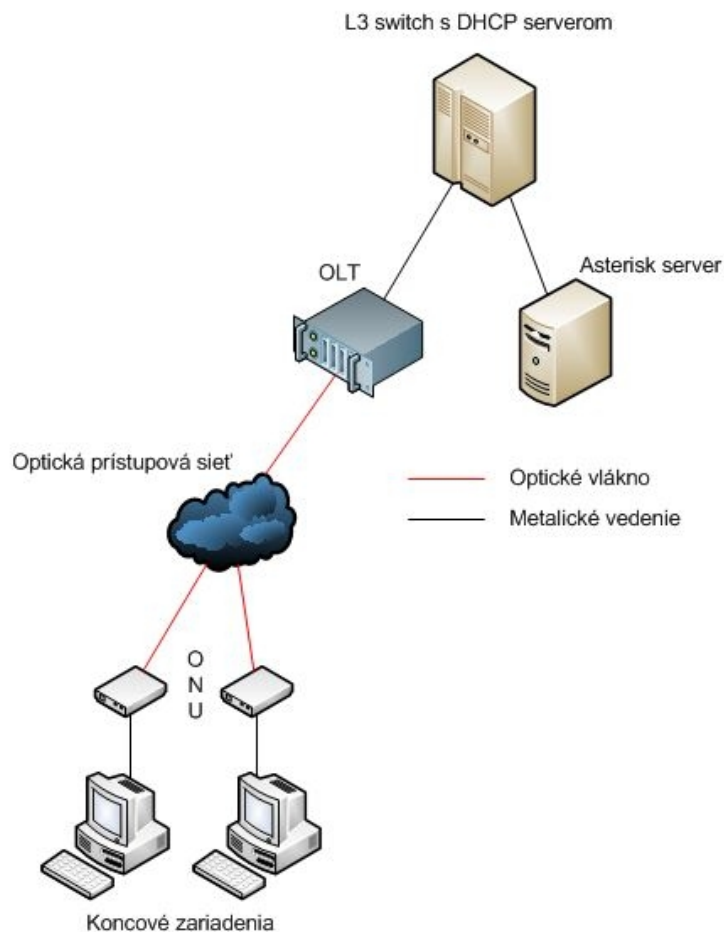
Obr. 17: Otestovanie funkčnosti VoIP spojenia.

8 MERANIE KVALITY VOIP

Praktická časť bakalárskej práce je venovaná meraniu a analýze kvality služby VoIP v rámci Triple Play. Táto časť sa skladá z viacerých častí:

- Konfigurácia DHCP serveru,
- Základná konfigurácia OLT,
- Konfigurácia P2P komunikácie,
- Konfigurácia komunikácie v GePON sieti,
- Meranie parametrov GePON sietí,
- Meranie VoIP parametrov pomocou analyzátora IxChariot.

Základnú schému siete, pri ktorej bola prevádzaná konfigurácia prvkov a meranie parametrov GePON siete popisuje obr. 18:



Obr. 18: Schéma meranej siete.

8.1 Konfigurácia DHCP serveru

Pre zjednodušenie práce v sieti som sa rozhodol nakonfigurovať vlastný DHCP server, ktorý by prideloval IP adresy ako koncovým zariadeniam pripojeným k ONU jednotkám, tak aj Asterisk serveru. Táto konfigurácia bola urobená na 24 portovom L3 switchi Catalyst 3650 PoE od Cisco. Pri konfigurácii bola použitá nasledujúca sekvencia príkazov:

```
enabled
configure terminal
ip route
interface FastEthernet 0/1
no switchport
ip dhcp pool DHCP1
network 192.168.20.0 255.255.255.0
lease infinite
```

Port FastEthernet 0/1 slúži teraz ako port routru, ostatné porty sú switchové. Preto stačí prepojiť port FastEthernet 0/1 s ktorýmkoľvek iným portom, napríklad FastEthernet 0/2 a získame tak 22 portov, ku ktorým môžeme pripojiť zariadenia, ktoré budú obsluhované DHCP serverom.

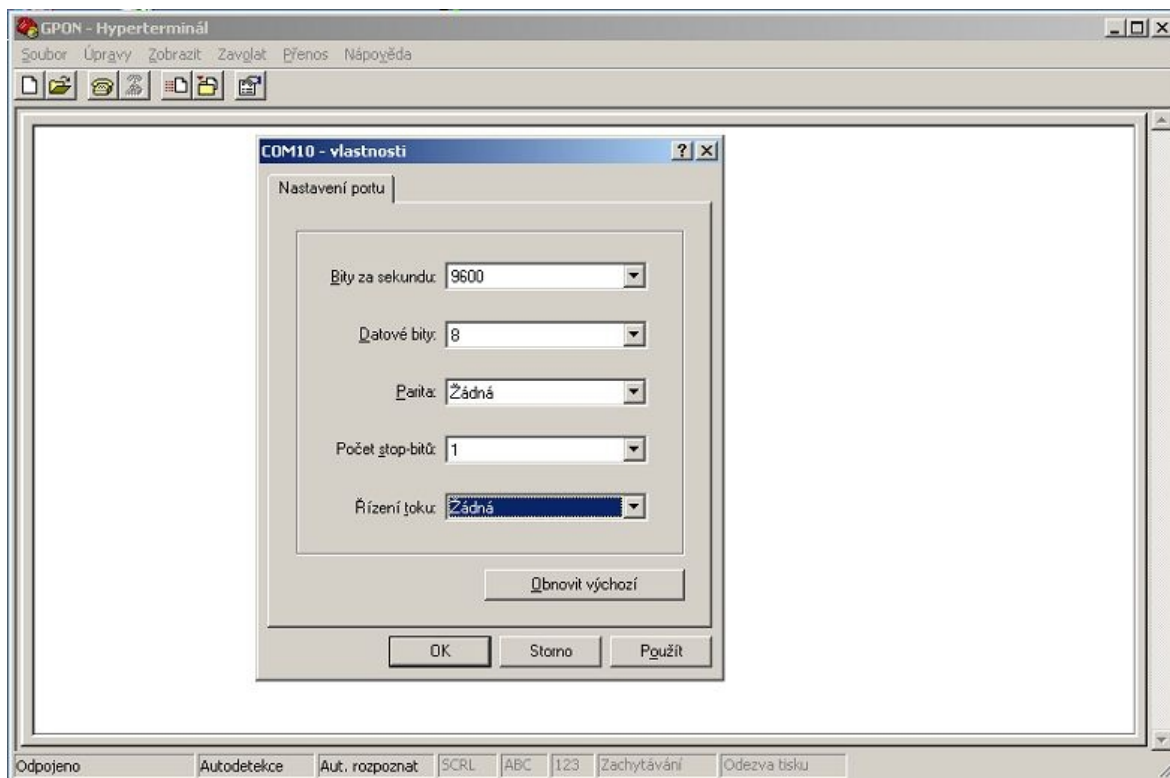
8.2 OLT a základná konfigurácia OLT

OLT je zariadenie, ktoré je umiestené na rozhraní medzi optickou prístupovou sieťou a sieťou poskytovateľa telekomunikačných služieb.

OLT, ktorým bolo vybavené laboratórium bolo od výrobcu ATi a šlo o model iMAP 9102. Toto zariadenie je veľmi flexibilné riešenie, nakoľko je možné osadiť ho ľubovoľnými zásuvnými kartami. V našom prípade bolo osadené kartou pre GePON, hlavnou kartou s rozhraním pre správu zariadenia, kartou pre P2P pripojenie a ADSL kartou. Pre účely základnej konfigurácie a otestovania P2P a P2MP pripojenia sme však potrebovali len tri z týchto kariet, a to:

- CFC12 – karta obsahuje MGMT a CONSOLE rozhrania pre správu zariadenia, oba typu RJ-45. Ďalej sú na nej umiestené 2 porty typu RJ-45 a 4 šachty pre SFP moduly, ktoré slúžia ako WAN rozhranie, ale takisto môžu poskytovať sieťové služby, záleží na ich konfigurácii,
- FX20 – karta osadená zásuvkami pre optické konektory typu LC. Poskytujú optické rozhranie na báze Ethernetu,
- GePON/EPON2 – obsahuje 2 šachty pre SFP moduly. Má na starosti prevádzku pasívnej optickej siete PON.

Pre pripojenie k OLT sa používa port na karte CFC12 označený ako CONSOLE. Kábel použitý pri konfigurácii je na jednom konci zakončený konektorom RJ-45, na druhom konci sa nachádza RS-232 konektor. Pre pripojenie k notebooku, na ktorom som konfiguroval OLT som preto ešte potreboval redukciu z RS-232 na USB koncovku. Pre prístup k CLI zariadenia som použil program Hyperterminál, ktorý je súčasťou operačného systému Windows XP, ktorý bol na notebooku nainštalovaný. Konfiguráciu spojenia pomocou Hyperterminálu popisuje nasledujúci obr. 19:



Obr.19: Nastavenie programu Hyperterminál.

Po nadviazaní spojenia je užívateľ požiadaný o zadanie prihlasovacieho mena a hesla. Vzhľadom k tomu, že konfigurované OLT bolo nové a obsahovalo továrne nastavenia, bolo prihlasovacie meno `officer` a heslo k tomuto účtu taktiež `officer`. Prihlasovací dialóg je znázornený na obr. 20.



Obr. 20: Prihlasovací dialóg.

Po prihlásení som overil nastavenia systému. Jeho prehľad dostaneme zadáním príkazu `show system`. Tento príkaz vypíše kompletnú správu o systéme, použitých kartách, aktuálne použitý firmware, informácie o IP nastaveniach správcovského portu a podobne.

Príkazom `show card` zobrazíme prehľad kariet. Zobrazí sa číslo slotu, v ktorom je karta inštalovaná, jej typ, stav a prípadné chyby karty. Ako vidno z obr. 21, karty ASDL a EPON2 boli

chybne zapojené – bolo nutné ich pozície vzájomne vymeniť.

```
officer SEC>> show card

--- Card Information ---

Slot   Prov      Card Type State                      Faults
-----
0      ADSL24B      UP-DN-NotInstalled        Minor
1      FX20         UP-UP-Online              -
2      EPON2        UP-DN-NotInstalled        Major
3      CFC12        UP-UP-Online (Active)     -
4      GE2RJ        UP-UP-Online              -
5      GE4          UP-UP-Online              -
FAN    PEM71        UP-UP-Online              -
```

Obr. 21: Výpis príkazu show card.

Pre bližšie informácie o konkrétnej karte je možné tento príkaz doplniť o číslo karty, takže keď budeme chcieť zobraziť napríklad detailnejšie informácie o karte CFC12, ktorá je osadená v slotě číslo 3, použijeme príkaz show card 3.

Prehľad všetkých dostupných portov spolu s informáciou o stave portu vyvoláme príkazom show interface. Informácie o konkrétnom porte získame príkazom show interface #.#, ako zobrazuje obr. 22.

```
--- FX Interfaces ---

Interface..... 1.1
Type..... FX
State..... UP-DN-Failed
Description..... <none>
Remote ID..... <none>
External Profile..... <none>
Card Type..... FX20

Interface Faults
  Loss of Link..... Info

Provisioning
  Provisioning Profile..... AutoProv
  Direction..... Customer
  Auto Negotiation..... Off
  Flow Control..... Off
  Remote Monitoring..... Off
```

Obr. 22: Skrátený výpis príkazu show interface 1.1.

Ďalším krokom bola kontrola systémového času a dátumu a ich korekcia. Príkazy, ktoré sú použité pri kontrole a nastavení:

```
show system time
set system time=HH:MM:SS
set system date=YYYY-MM-DD
```

OLT iMAP 9102 ponúka vzdialenú správu pomocou služieb TELNET, prípadne šifrované SSH. Pre vzdialenú správu zariadenia je potrebné, aby bola na MGMT porte nastavená IP adresa, maska siete

a východzia brána. Kontrolu týchto nastavení vykonáme príkazom `show ip interface #####`, kde ##### označuje meno, alebo číslo portu. Číslo portu sa udáva v tvare napr. `Eth:3.0`. Príkladom môže byť príkaz `show ip interface mgmt`, ktorého výpis je na nasledujúcom obrázku:

```
officer SEC>> show ip interface mgmt

--- IP Interfaces ---

Interface..... ETH:0 (MGMT)
IP State..... Enabled

Provisioning
  IP Address..... 158.196.142.2
  Subnet Mask..... 255.255.255.224
  Gateway..... 158.196.23.23
  DNS..... <none>
  Domain Name..... <none>
  Card..... ACTCFC
  MGMT..... Yes
```

Obr. 23: Výpis príkazu show ip interface mgmt.

Pre zmenu IP nastavení portu slúži príkaz zadávaný v tvare `set ip interface ##### ipaddress=aaa.aaa.aaa.aaa subnetmask=bbb.bbb.bbb.bbb`. Po odoslaní príkazu systém požiada o potvrdenie. To je z dôvodu, že zmenou IP adresy sa port resetuje. Potvrdíme zadáním písmena `y`. Pre kontrolu funkčnosti portu sa používa príkaz `ping` (obr. 24). Ten slúži klasicky ako pri väčšine operačných systémov. Rozdielom je, že je možné nastaviť zdrojový port alebo IP adresu pingu. Príkaz so zmeneným zdrojovým portom má tvar `ping <cieľová IP adresa alebo názov portu> from interface #####`. Pre zmenu zdrojovej IP adresy má príkaz tvar `ping <cieľová IP adresa alebo názov portu> from ipaddress <zdrojová IP adresa>`.

```
officer SEC>> ping 192.182.176.6
officer SEC>>
PING 192.182.176.6 (192.182.176.6)
No reply from 192.182.176.6 (192.182.176.6)

--- 192.182.176.6 ping statistics ---
1 packets transmitted, 0 packets received, 100% packet loss

officer SEC>> ping 158.196.142.2
officer SEC>>
PING 158.196.142.2 (158.196.142.2)
64 bytes from 158.196.142.2 (158.196.142.2): icmp_seq=1

--- 158.196.142.2 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 packets received, 0% packet loss
```

Obr. 24: Ukážka úspešného a neúspešného príkazu ping.

8.3 Konfigurácia P2P komunikácie

Ako ONU pre P2P komunikáciu boli k dispozícii dve jednotky WAMIN CS-120. Táto ONU jednotka dokáže zároveň slúžiť aj ako Media Convertor. Podporované prenosové rýchlosti jednotky sú 10/100/1000 Mb/s. Na strane OLT sa pripájala do jedného z portov na karte FX20. Bohužiaľ, napriek veľkej snahe sa komunikácia nepodarila nakonfigurovať. ONU jednotka WAMIN nefungovala ani v móde Media Convertoru, čo ukazuje na pravdepodobnú nekompatibilitu ONU jednotiek z OLT. Predajca OLT a ONU jednotiek, bohužiaľ, takisto nevedel vysvetliť, prečo napriek mnoho pokusom nie je možné nadviazať komunikáciu medzi týmito dvoma zariadeniami.

8.4 Konfigurácia P2MP komunikácie prostredníctvom GePON

ONU jednotky pre P2MP pochádzali od rovnakého výrobcu ako OLT. Bola ním firma ATi a použitým modelom jednotiek je model AT-ON1000. Podporované rýchlosti sú 10/100/1000 Mb/s. Pre indikáciu stavu ONU jednotky slúži dvojica LED diód na ľavej strane, rýchlosť Ethernetového portu indikujú LED diódy na pravej strane zariadenia. Optický port je určený pre konektory typu SC.

ONU jednotku je potrebné do OLT pridať pomocou príkazu `create onu`. Pri zadávaní tohto príkazu je potrebné vedieť MAC adresu ONU jednotky, zadať jej názov, ktorý si zvolíme sami, jej typ (TK3711 pre zariadenie iMG646PX-ON, alebo TK3713 pre AT-ON1000), port, na ktorý je ONU jednotka pripojená a jej identifikačné číslo. Celý príkaz potom môže vyzeráť takto:

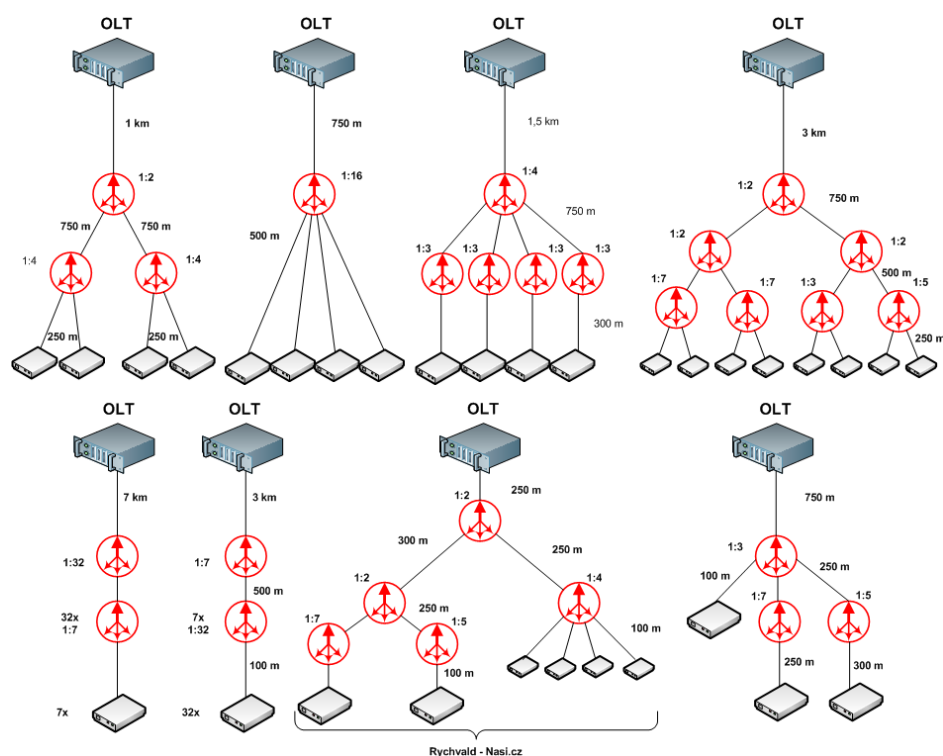
```
create onu <názov> onuid <0-15> macaddress <MAC adresa ONU> type  
<tk3711 alebo tk3713>
```

Kontrolu a prehľad pripojených ONU jednotiek získame po zadaní `show onu`, konfiguráciu konkrétnej jednotky potom príkazom `show onu <názov>`. Po pripojení koncového zariadenia k ONU jednotke, v tomto prípade to bol notebook, došlo k nastaveniu IP adresy pomocou DHCP serveru. Tým som overil funkčnosť ONU jednotiek a konfigurácie OLT zariadenia pre komunikáciu s nimi.

8.5 Meranie parametrov v GePON topológiách

Ďalším krokom bolo meranie útlmových bilancií na zvolených topológiách. Oslovil som niekoľko firiem poskytujúcich optické pripojenie o topológii ich optických prístupových sietí. Bohužiaľ, väčšina firiem nebola ochotná tieto informácie poskytnúť, napriek tomu, že som ich žiadal len o pomery pasívnych optických rozbočovačov a vzdialenosti medzi jednotlivými zariadeniami v optickej prístupovej sieti. Tie, ktoré boli ochotné poskytnúť takéto údaje však používali len siete typu P2P, respektíve používali optickú sieť len ako backbone ich sietí. Vzhľadom k tomu, že šlo o lokálnych operátorov na území Ostravy je takéto riešenie pochopiteľné, aj keď o dodržiavaní štandardov je tu veľmi ťažké hovoriť. Výnimkou bola spoločnosť Naši.cz, ktorá ochotne poskytla náčrt svojej optickej prístupovej siete pre účely bakalárskej práce. Ich sieť bola takisto postavená na technológii P2P a používala prístupovú sieť typu FTTB, ale vďaka presným informáciám bolo možné ich sieť replikovať v laboratórnych podmienkach na PON sieť.

Keďže mi oslovené spoločnosti neboli ochotné poskytnúť schémy topológií ich optických prístupových sietí, pristúpil som k vytvoreniu vlastných topológií (obr. 25) .



Obr. 25: Schémy topológií použitých pri meraní.

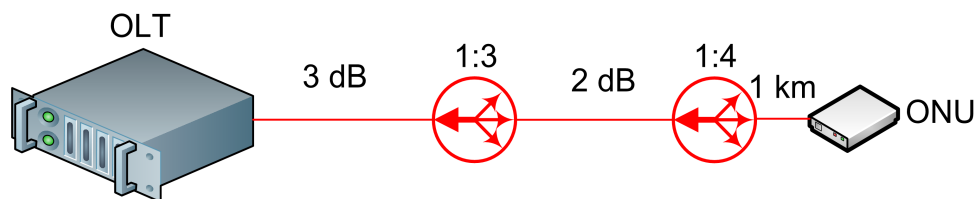
Na týchto topológiách som zmeral útlmy trás. Pre správnu funkciu pasívnej optickej prístupovej siete je potrebné, aby bol celkový útlm na trase OLT-ONU menší ako 34,5 dB. Počas merania som do vlozenej topológie postupne vkladal útlmové články a meral jej útlmovú bilanciu a jej funkciu preniesť dáta. Pri celkovom útlme 34,45 dB na vlnovej dĺžke 1550 nm bolo spojenie ešte funkčné, ale pri ďalšom zvýšení útlmu na 37,36 dB na 1550 nm už ONU jednotka nekomunikovala s OLT.

8.6 Meranie kvality VoIP pomocou analyzátoru IxChariot

Služba VoIP v rámci služby Triple Play je málo náchylná na šírku prenosového pásma, ale je oveľa viac náchylná na oneskorenie a stratovosť paketov. Preto je meranie rozdelené do dvoch častí:

- meranie vplyvu QoS na kvalitu služby VoIP v rámci Triple Play,
- meranie vplyvu stratovosti paketov (packet loss) na kvalitu služby VoIP v rámci Triple Play.

Topológia, ktorá bola použitá pre merania bola zostavená pomocou roliek káblov so zmeranými dĺžkami, pasívnych optických rozbočovačov a útlmových článkov rôznych hodnôt (viz. obr 26). Aby sa toto meranie čo najviac podobalo reálnej sieti, je zostavená tak, aby predstavovala dĺžku optických vlákien 16 km a použitie pasívnych optických rozbočovačov v pomere 1:3 a 1:4.

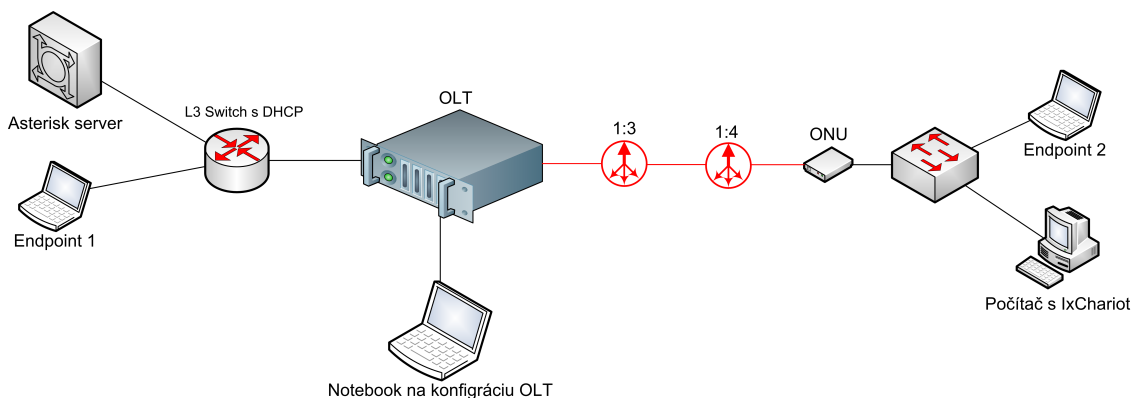


Obr. 26: Schéma simulovanej trasy.

8.6.1 Meranie vplyvu QoS na VoIP

Pri meraní vplyvu QoS na VoIP som postupoval nasledujúcim spôsobom:

1. Zostavil som schému zapojenia zobrazenú na nasledujúcom obrázku:



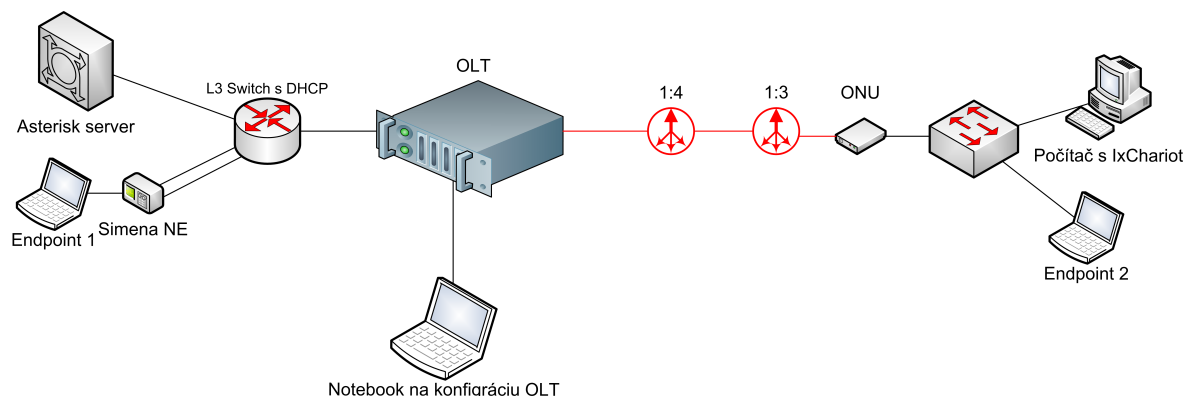
Obr. 27: Meranie vplyvu QoS na kvalitu VoIP.

2. IP adresy všetkých zariadení sú pridelované automaticky DHCP serverom.
3. Na OLT som vytvoril QoS s rôznymi priepustnosťami. QoS nastavíme príkazom
`create qos <názov QoS> maxdownstreamrate <hodnota>`
`maxupstreamrate <hodnota>`
Hodnoty zadaných prenosových rýchlostí sa zadávajú v tvare napr. 12M pre 12 Mb/s, 512k pre 512 kb/s a pod. Vytvoril som 7 QoS pravidiel. Rýchlosti každej QoS boli symetrické. QoS mali rýchlosti 50 Mb/s, 25 Mb/s, 10 Mb/s, 5 Mb/s, 2,5 Mb/s, 1 Mb/s a 512 kb/s. Nižšie prenosové rýchlosti už QoS na tomto OLT nedovoľuje.
4. Po vytvorení QoS pravidiel je potrebné aplikovať ich na port. To sa robí príkazom:
`add qospolicy <názov QoS> interface <označenie rozhrania>`
`bidirectional vlan <číslo VLAN>`
5. Spustenie programu IxChariot. V ňom je potrebné nastaviť IP adresy obidvoch Endpointov a podrobnosti testu ako je napr. použitý kodek. Testovanie vplyvu QoS na VoIP bolo vykonané na kodeku G.711 u-law.
6. Po skončení testu som exportoval výsledky, aplikoval QoS s nižšou rýchlosťou na port OLT a opäť zopakoval meranie. Výsledky boli exportované do PDF súborov, ktoré je

možné nájsť na priloženom CD v zložke /Výsledky meraní/Vplyv QoS,

8.6.2 Vplyv stratovosti paketov na kvalitu služby VoIP

Pre analýzu vplyvu stratovosti paketov na kvalitu služby VoIP bolo potrebné použiť zariadenie, ktoré dokáže simulovať stratovosť paketov. Na tento účel bolo použité zariadenie Simena Network Emulator. Toto zariadenie požaduje IP adresu, preto musí byť pripojené k routri, ktorý poskytuje DHCP. Jeho umiestnenie v sieti a celkovú kompozíciu siete ilustruje schéma na obr. 28.



Obr. 28: Meranie vplyvu stratovosti paketov na VoIP.

Meranie prebiehalo nasledujúcim spôsobom:

1. IP adresy jednotlivých zariadení boli priradené DHCP serverom, ďalšia konfigurácia nebola nutná. Simena Network Emulator pracoval s jadrom operačného systému na báze Unix, preto pre obdržanie IP adresy od DHCP serveru bolo treba použiť príkaz `dhclient`.
2. Po priradení IP adresy zariadeniu Simena Network Emulator je potrebné túto adresu zistiť príkazom `ifconfig eth0`. Táto adresa slúži k ovládaniu zariadenia cez webové rozhranie.
3. Na notebooku s programom IxChariot je pomocou Internetového prehliadača zadaná IP adresa sieťového emulátora Simena. Je potrebné počkať na inicializovanie portov zariadenia Simena Network Emulator. Po inicializácii som vyhľadal záložku Emulation, kde je možné nastaviť stratovosť paketov.
4. Počiatočná stratovosť paketov bola nastavená na 0% a po každom skončení merania programu IxChariot som postupne menil hodnotu stratovosti paketov. Hodnoty stratovosti paketov sú v Tabuľke XXXXX.
5. Pre meranie vplyvu stratovosti paketov som zvolil dva kodeky. Prvým bol kodek G.711, druhým kodek G.729.
6. Postupne som meral vplyv jednotlivých hodnôt stratovosti paketov na kvalitu služby VoIP na oboch kodekoch. Po skončení každého merania som výsledky exportoval do PDF súborov, ktoré je možné nájsť na médiu priloženom k tejto bakalárskej práci v zložke /Výsledky meraní/Vplyv stratovosti paketov.

9 ANALÝZA NAMERANÝCH VÝSLEDKOV

9.1 Analýza vplyvu QoS na kvalitu VoIP

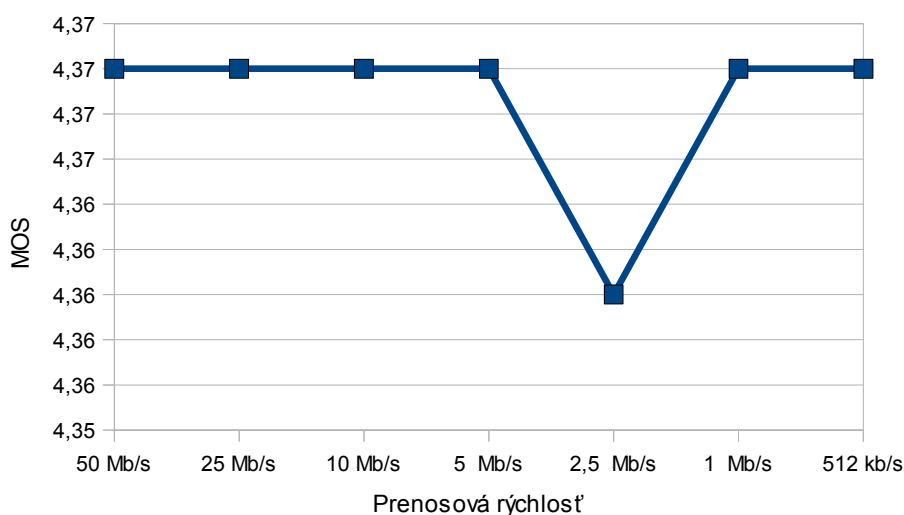
Hlavným parametrom hodnotiacim kvalitu služby VoIP pri analýze s pomocou programu IxChariot je hodnota MOS. Tá by nemala klesnúť pod 3,0, inak hovoríme o hovore, ktorého kvalita je podstatne znížená a komunikácia pomocou neho je veľmi obtiažna.

Pri meraní boli uplatňované rôzne QoS upravujúce rýchlosť prenosu dát na optickej prístupovej sieti. Ich prehľad spolu s výsledkami je v nasledujúcej tabuľke:

Tab. 9: Súhrn výsledkov meraní vplyvu QoS na kvalitu VoIP.

Číslo merania	Rýchlosť prenosu upravená QoS	Hodnota MOS	Stratovosť paketov	Priepustnosť	Oneskorenie
1	50 Mb/s	4,37	0,00%	64 kb/s	3 ms
2	25 Mb/s	4,37	0,00%	64 kb/s	2 ms
3	10 Mb/s	4,37	0,00%	64 kb/s	2 ms
4	5 Mb/s	4,37	0,00%	64 kb/s	2 ms
5	2,5 Mb/s	4,36	0,00%	64 kb/s	2 ms
6	1 Mb/s	4,37	0,00%	64 kb/s	2 ms
7	512 kb/s	4,37	0,00%	64 kb/s	2 ms

Vidíme, že namerané hodnoty sa takmer vôbec nelíšia. Zmena MOS pri rýchlosti 2,5 Mb/s je zanedbateľná a na kvalitu hovoru nemá žiaden vplyv. Hodnoty nameraných parametrov sú priemery hodnôt. Zmenu hodnoty MOS počas meraní ilustruje nasledujúci obrázok:



Obr. 29: Zmena hodnoty MOS pri meraní.

Zmena QoS do 512 kb/s nemá teda vplyv na kvalitu hovoru uskutočňovaného pomocou služby VoIP. Zmena kvality by mohla nastať až pri plnom zaťažení siete, kedy by na sieti prebiehal prenos veľkého objemu dát, bola by pustená IP televízia vo vysokom rozlíšení a zároveň by bol uskutočňovaný hovor pomocou VoIP. Simulované obmedzenie rýchlosti prenosu dát v sieti nemalo vplyv ani na ďalšie parametre ako oneskorenie alebo priepustnosť potrebnú pre prenos hlasu. Vzhľadom na to, že priepustnosť siete bola podstatne vyššia ako potrebná priepustnosť pre prenos hlasu v kodeku G.711, preto je stratovosť paketov počas všetkých meraní na úrovni 0%. Prudký pokles MOS pri obmedzení prenosovej rýchlosti na 2,5 Mb/s bol spôsobený neznámou a neurčenou udalosťou v sieti, samotné obmedzenie rýchlosti vplyv na kvalitu hovoru uskutočneného cez VoIP nemá.

9.2 Analýza vplyvu stratovosti paketov na kvalitu služby VoIP

Stratovosť paketov je parameter, ktorý opisuje percentuálny pomer paketov vyslaných zdrojovým zariadením a prijatých koncovým zariadením. To znamená, že ak je stratovosť paketov na úrovni 10%, do cieľa sa dostalo len 90% paketov vyslaných zdrojom. Strata prenášaných paketov môže nastať z viacerých príčin:

- degradácia signálu pri prenose cez sieťové médium,
- preťaženie prenosového kanálu,
- poškodenie paketov pri prenose,
- poškodený sieťový prvok, a pod.

Stratovosť paketov ovplyvňuje takisto napríklad vzdialenosť medzi odosielateľom a prijímateľom, alebo odstup šumu od signálu.

Súhrnný prehľad priemerných nameraných hodnôt pri použití kodeku G.711 ukazuje tab. 10:

Tab. 10: Prehľad priemerných hodnôt vplyvu stratovosti paketov na kodek G.711.

Nastavená stratovosť paketov	Hodnota MOS	R hodnota	Zmeraná stratovosť paketov	Priepustnosť	Oneskorenie
0,00%	4,37	91,47	0,00%	64 kb/s	1 ms
0,50%	4,03	82,15	0,40%	64 kb/s	1 ms
1,00%	3,76	75,81	0,77%	64 kb/s	1 ms
1,50%	3,36	66,32	1,29%	63 kb/s	1 ms
2,00%	2,99	58,14	1,85%	63 kb/s	1 ms
2,50%	2,78	54,2	2,39%	62 kb/s	1 ms
3,00%	2,56	49,9	2,89%	62 kb/s	1 ms
3,50%	2,4	46,35	3,49%	62 kb/s	1 ms
4,00%	2,23	42,19	4,00%	61 kb/s	1 ms
4,50%	2,06	37,77	4,43%	61 kb/s	1 ms
5,00%	1,88	34,05	4,85%	61 kb/s	1 ms

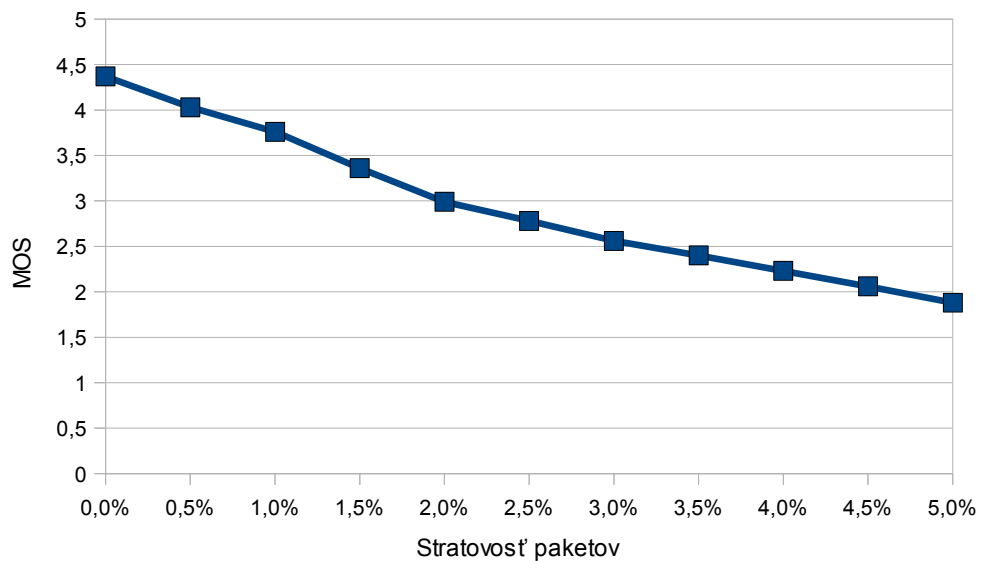
Pre kodek G.729 som použil odlišné odstupňovanie stratovosti, pretože tento kodek používa prenosovú rýchlosť len 8 kb/s. Hodnoty uvedené v tab. 11 sú priemery nameraných hodnôt.

Tab. 11: Prehľad priemerných hodnôt vplyvu stratovosti paketov na kodek G.729.

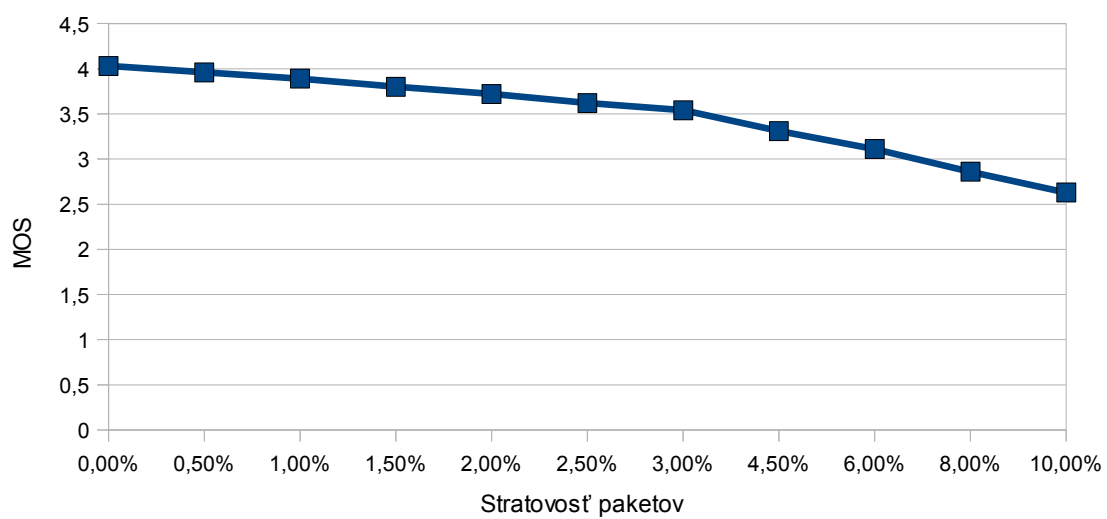
Nastavená stratovosť paketov	Hodnota MOS	R hodnota	Zmeraná stratovosť paketov	Priepustnosť	Oneskorenie
0,00%	4,03	90,17	0,00%	8 kb/s	0 ms
0,50%	3,96	78,43	0,41%	8 kb/s	1 ms
1,00%	3,89	76,63	0,87%	8 kb/s	1 ms
1,50%	3,3	74,63	1,35%	8 kb/s	1 ms
2,00%	3,72	72,86	1,88%	8 kb/s	1 ms
2,50%	3,62	70,58	2,45%	8 kb/s	1 ms
3,00%	3,54	75,86	2,96%	8 kb/s	1 ms
4,50%	3,31	64,22	4,49%	8 kb/s	1 ms
6,00%	3,11	60,3	5,88%	8 kb/s	1 ms
8,00%	2,86	55,39	7,95%	7 kb/s	1 ms
10,00%	2,63	51,13	10,32%	7 kb/s	1 ms

Z nameraných hodnôt môžeme vyviesť tieto závery:

1. Stratovosť paketov viac ovplyvňuje kvalitu VoIP pri kodeku G.711 ako pri kodeku G.729 (ako vyplýva z obr. 30 a obr. 31)

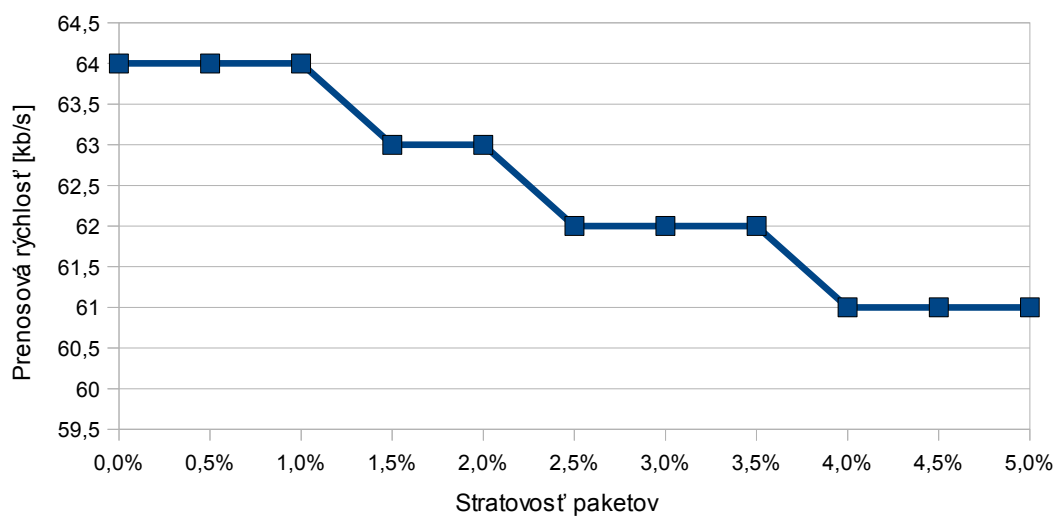


Obr. 30: Graf vplyvu stratovosti paketov na kvalitu VoIP pri kodeku G.711.



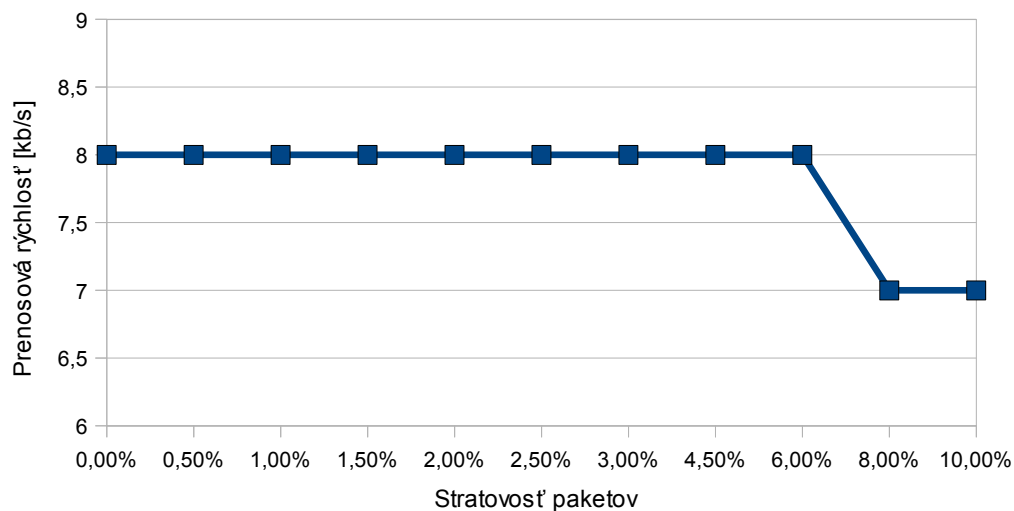
Obr. 31: Graf vplyvu stratovosti paketov na kvalitu VoIP pri kodeku G.729.

2. Stratovosť paketov ovplyvňuje prenosovú rýchlosť pri oboch kodekoch len minimálne (obr. 32 a 33)



Obr. 32: Vplyv stratovosti paketov na prenosovú rýchlosť pri kodeku G.711.

Obr. 33: Vplyv stratovosti paketov na prenosovú rýchlosť pri kodeku G.729.



3. Hraničná stratovosť paketov, pri ktorej sa stáva hovor pomocou služby VoIP nekvalitným (MOS klesne pod hodnotu 3,0) je pri kodeku G.711 okolo 2%, pri kodeku G.729 je táto hranica v rozmedzí 6-8%.
4. Stratovosť paketov nemá markantný vplyv na oneskorenie pri oboch meraných kodekoch.

10 ZÁVER

Práca bola zameraná na technológiu optických prístupových sietí a problematike služby Triple Play, konkrétne služby VoIP. Služba VoIP sa v dnešnej dobe dostáva do popredia vďaka výhodným cenám na volanie a takisto vďaka dostupnosti tejto služby, ktorá sa dostáva do počítačov, notebookov a mobilných zariadení.

V teoretickej časti som spracoval základné princípy a charakteristiky optických prístupových sietí, porovnal som jednotlivé druhy FTTX a opísal základné prvky optických prístupových sietí a ich hlavné parametre. Pre charakteristiku týchto prvkov a ich parametrov som použil voľne dostupné normy ITU-T, ktoré platia vo väčšine krajín sveta.

Ďalšia kapitola pojednávala o rozdelení optických prístupových sietí z hľadiska P2P a P2MP. Jednotlivé druhy sietí som popísal, vysvetlil ich základné parametre a spomenul najpoužívanejšie technológie pasívnych optických prístupových sietí.

Štvrtá kapitola sa venuje technológii EPON a spôsobu, akým funguje v rámci Ethernetu. Vysvetlil som spôsob, akým komunikujú OLT a ONU jednotky a spracoval som princíp protokolu MPCP protokolu, ktorý má na starosti pridelovanie časových slotov pre jednotlivé ONU jednotky.

Kapitola o Triple Play zhrnula jednotlivé služby, ktoré ponúka. Ponúka stručný prehľad o IPTV a protokoloch, ktoré IPTV používa. Ďalšou opísanou službou bola VoIP, kde som sa zamerail na základné princípy tejto služby a porovnal som jednotlivé druhy koncových zariadení pre VoIP. Posledná časť tejto kapitoly hovorí o vysokorýchlostnom Internetovom pripojení a definuje pojem „vysokorýchlostný“.

Službe VoIP bola venovaná samostatná kapitola, kde je bližšie rozobraná technológia prenosu VoIP dát. Opisujem tu protokoly, ktoré sú najviac používané pre prenos VoIP komunikácie ako SIP, RTP/RTCP a H.323. Takisto tu porovnávam najrozšírenejšie kodeky, ktoré majú na starosť moduláciu a demoduláciu, respektíve kompresiu a dekompresiu signálu. Nakoniec sa venujem hodnoteniu kvality VoIP a možnostiam hodnotenia kvality prenášaného VoIP signálu.

Praktická časť bakalárskej práce začína konfiguráciou jednoduchého Asterisk serveru, na ktorom som otestoval funkčnosť služby VoIP. Popísaný je postup inštalácie Asterisk serveru na počítač, základná konfigurácia pre 5 koncových zariadení a výpis z programu Wireshark, ktorým demonštrujem funkčnosť služby.

Ďalšou súčasťou praktickej časti práce je meranie kvality VoIP. Pri meraní bolo potrebné nakonfigurovať OLT a komunikáciu medzi OLT a ONU jednotkami ako pre P2P tak aj pre GePON. Konfigurácia P2P jednotiek sa, pravdepodobne z dôvodu nekompatibility OLT a ONU, nepodarila, ale ONU jednotky určené pre GePON fungovali po inicializácii v OLT bez problémov. Následne som zmeral 8 rôznych topológií pasívnych optických prístupových sietí a overil som ich spôsobilosť pre prevádzku v praxi. Našiel som hraničný útlm, ktorý zamedzil komunikácii ONU jednotky a OLT. Zvolil som si topológiu, ktorá simulovala topológiu použiteľnú v praxi.

Na tejto topológii som pristúpil k meraniu kvality služby VoIP v pasívnej optickej prístupovej sieti. Ako prvé som pozoroval ovplyvnenie kvality VoIP nastavením prenosovej rýchlosti pomocou QoS. Toto meranie dopadlo úspešne a ukázalo, že ani obmedzenie rýchlosti na 512 kb/s nemá žiadny

vplyv na kvalitu hovoru. Následujúce merania analyzovali stratovosť paketov a účinok stratovosti na kvalitu hovoru uskutočneného cez VoIP. Výsledky meraní ukázali, že pri kodeku G.711, ktorý používa prenosové pásmo 64 kb/s je vplyv stratovosti výraznejší ako pri kodeku G.729 využívajúceho len 8 kb/s. Ďalej som overil, že stratovosť paketov má pri oboch kodekoch len minimálny dopad na prenosovú rýchlosť. Ukázalo sa, že oneskorenie hovoru nebolo ovplyvnené. Merania poskytli zaujímavé výsledky, je však škoda, že sa nepodarilo nadviazať P2P komunikáciu, na ktorej by som takisto mohol analyzovať kvalitu služby VoIP.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] HLADKÝ, Miroslav. *FTTX PŘÍSTUPOVÉ INFRASTRUKTURY*. Brno, 2008. 72 s. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [2] hps.mallat.cz [online]. 2003 [cit. 2011-04-01]. Co je co v IT > Optické vlákno a kabely. Dostupné z WWW: <<http://hps.mallat.cz/view.php?cisloclanku=2003090203>>.
- [3] ITU-T G.652. *Characteristics of a single-mode optical fibre cable* [online]. ITU-T, 11/2009. 22 s. Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200911-I/en>>.
- [4] ITU-T G.656. *Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport* [online]. ITU-T, 7/2010. 22 s. Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.656-201007-I/en>>.
- [5] ITU-T G.657. *Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network* [online]. ITU-T, 11/2009. 22 s. Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.657-200911-I/en>>.
- [6] www.fcs.sk [online]. 2010 [cit. 2011-04-08]. FCS | Datasheets | Fibers. Dostupné z WWW: <<http://www.fcs.sk/info/datasheets/fibers/>>.
- [7] FILKA, Miroslav. *OPTOELEKTRONIKA PRO TELEKOMUNIKACE A INFORMATIKU*. Brno : Ústav telekomunikací, VUT FEKT, 2009. 978-80-86785-14-1.
- [8] VODRÁŽKA, J. <http://access.feld.cvut.cz> [online]. 2005 [cit. 2011-04-02]. Optické přístupové sítě EPON a CWDM. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005070401>>.
- [9] MATUŠÍK, Lukáš. *TECHNOLOGIE DATOVÝCH PŘENOSŮ V OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍCH FTTX*. Brno, 2009. 55 s. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [10] BOBKOVÍČ, Peter. *"TROJITÁ HRA" - FTTH*. Brno, 2008. 62 s. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [11] LAFATA, P. <http://access.feld.cvut.cz> [online]. 2009 [cit. 2011-04-02]. Pasivní optické sítě WDM-PON. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050004>>.

- [12] DIXIT, Sudhir. *IP OVER WDM : Building the Next-Generation Optical Internet*. New Jersey. John Wiley & Sons, Inc., 2009. 580 s. ISBN 0-471-21248-2.
- [13] Broadband Internet access. In Wikipedia : the free encyclopedia[online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 28.5.2004, posledná úprava 7.4.2011 [cit. 2011-04-11]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Broadband_Internet_access#Overview>.
- [14] Session Initiation Protocol. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 14.5.2010, posledná úprava 11.4.2011 [cit. 2011-04-12]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Session_Initiation_Protocol>.
- [15] PERKINS, Colin. *RTP: Audio and Video for the Internet*. [s.l.] : Addison Wesley, 2003. 432 s. ISBN 0-672-32249-8.
- [16] JONES, Paul E. *Overview of H.323* [online]. 04/2007 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z : <http://hive2.hive.packetizer.com/users/packetizer/papers/h323/overview_of_h323.pdf>.
- [17] VAN MEGGELEN, Jim; MADSEN, Leif; SMITH, Jared. *Asterisk™: The Future of Telephony*. 2nd edition. O'Reilly, 2007. 586 s. ISBN 0-596-51048-9.
- [18] WIJA, Tomáš; ZUKAL, David; VOZŇÁK, Miroslav. *Asterisk a jeho použití* : Technická zpráva. [online]. 2005 [cit. 2011-04-18]. Dostupné z WWW: <http://www.cesnet.cz/akce/20051115/pr/voz05_asterisk.pdf>.

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha 1: Topológia optických prístupových sietí použitých pri meraní
- Príloha 2: Výsledky merania vplyvu QoS na kvalitu služby VoIP
- Príloha 3: Výsledky merania vplyvu stratovosti paketov na kvalitu služby VoIP pri použití kodeku G.711
- Príloha 4: Výsledky merania vplyvu stratovosti paketov na kvalitu služby VoIP pri použití kodeku G.729